

PCT/JP2004/010497

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

06.8.2004

REC'D 30 SEP 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 3 年   7 月 2 9 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 3 - 2 8 2 0 6 7  
Application Number:  
[ST. 10/C];      [J P 2 0 0 3 - 2 8 2 0 6 7]

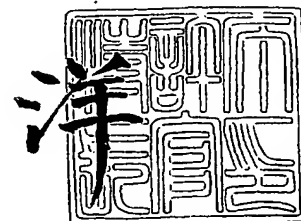
出 願 人      浜松ホトニクス株式会社  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年   9 月 1 6 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



BEST AVAILABLE COPY

出証番号   出証特 2 0 0 4 - 3 0 8 3 6 1 0

【書類名】 特許願  
【整理番号】 2003-0094  
【提出日】 平成15年 7月29日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 A61B 5/145  
G01N 21/35

【発明者】  
    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会  
社内  
    【氏名】 山中 武志

【発明者】  
    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会  
社内  
    【氏名】 上田 之雄

【発明者】  
    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会  
社内  
    【氏名】 山下 豊

【特許出願人】  
    【識別番号】 000236436  
    【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】  
    【識別番号】 100088155  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】  
    【識別番号】 100092657  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】  
    【識別番号】 100124291  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 石田 悟

【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 014708  
    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

散乱吸収体に対してその内部情報を非侵襲的に計測するためのパルス光を所定の光照射位置から照射する光照射手段、及び前記光照射手段から照射されて前記散乱吸収体の内部を伝搬した光をそれぞれ所定の光検出位置で検出する少なくとも 1 個の光検出手段をそれぞれ有する N 個（N は 2 以上の整数）の計測モジュールを備え、

前記 N 個の計測モジュールに対応する N 個の前記光照射手段は、前記散乱吸収体に対して異なる照射タイミングで逐次に前記パルス光を照射し、前記光検出手段は、対応する前記光照射手段での前記照射タイミングと同期した検出タイミングで光を検出することを特徴とする散乱吸収体計測装置。

**【請求項 2】**

前記 N 個の計測モジュールが有する前記光照射手段及び前記光検出手段のそれぞれに対して前記照射タイミングまたは前記検出タイミングを指示するタイミング指示手段を備えることを特徴とする請求項 1 記載の散乱吸収体計測装置。

**【請求項 3】**

前記照射タイミングが連続する 2 個の前記光照射手段の間での前記照射タイミングの間隔が  $1 \mu \text{sec}$  以下であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の散乱吸収体計測装置。

**【請求項 4】**

N 個の前記光照射手段において、それぞれ 1 個の前記光照射手段に対して前記パルス光を供給するように N 個の光源が設置されていることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項記載の散乱吸収体計測装置。

**【請求項 5】**

N 個の前記光照射手段において、それぞれ複数個の前記光照射手段に対して前記パルス光を供給するように M 個（M は 1 以上 N 未満の整数）の光源が設置されていることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項記載の散乱吸収体計測装置。

**【請求項 6】**

複数の前記光検出手段のうちの一部は、複数の前記計測モジュールによって共有されていることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項記載の散乱吸収体計測装置。

**【請求項 7】**

散乱吸収体に対してその内部情報を非侵襲的に計測するためのパルス光を所定の光照射位置から照射する光照射手段、及び前記光照射手段から照射されて前記散乱吸収体の内部を伝搬した光をそれぞれ所定の光検出位置で検出する少なくとも 1 個の光検出手段をそれぞれ有する N 個（N は 2 以上の整数）の計測モジュールを備える計測装置を用い、

前記 N 個の計測モジュールに対応する N 個の前記光照射手段は、前記散乱吸収体に対して異なる照射タイミングで逐次に前記パルス光を照射し、前記光検出手段は、対応する前記光照射手段での前記照射タイミングと同期した検出タイミングで光を検出することを特徴とする散乱吸収体計測方法。

## 【書類名】明細書

## 【発明の名称】散乱吸収体計測装置及び計測方法

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、生体などの散乱吸収体の内部情報を計測する散乱吸収体計測装置及び計測方法に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、光を用いた生体計測が非破壊、非侵襲の利点から注目されている。この計測方法においては、近赤外光などの所定波長の光を計測対象となる生体などの散乱吸収体に照射して、その内部を伝搬させる。そして、伝搬後に外部へと出射された光を光検出器にて検出し、その検出結果から散乱吸収体の内部情報（例えば生体における酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度情報）を取得する。

## 【0003】

また、この散乱吸収体計測を多チャンネル化し、同時多点計測を行うことにより、散乱吸収体の画像データを取得するなど様々な計測を行うことができる。このような近赤外光による散乱吸収体計測技術は、例えば生体における脳機能計測などに利用することができる。装置の小型化、低い拘束性、高い感度を得ることが可能な光による計測は、脳の賦活化を簡便に計測するのに適している（例えば特許文献1、2、非特許文献1参照）。

【特許文献1】特開平9-184800号公報

【特許文献2】特開2001-178708号公報

【非特許文献1】H.Eda et al., "Multichannel time-resolved optical tomographic imaging system", Review of Scientific Instruments Vol. 70, p.3595 (1999).

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

近赤外光による散乱吸収体の内部情報の計測方法としては、計測用の光としてCW光を用いる方法、パルス光に対する検出光の時間分解波形を利用する時間分解分光法（TRS法：Time Resolved Spectroscopy）、あるいは変調光を利用する位相変調分光法（PMS法：Phase Modulation Spectroscopy）などが知られている。これらのうち、TRS法は時間分解波形で検出光の時間成分を選択することによって散乱吸収体内での光路長を選択することができ、その内部情報を精度良く計測することができる。

## 【0005】

一方、このような光を用いた計測では、散乱吸収体に対して光を照射する照射プローブと、散乱吸収体から光を取り出す検出プローブとを一定の間隔で配置して散乱吸収体計測のチャンネルを構成する必要がある。このような構成において多チャンネル計測を行おうとすると、隣接するチャンネル間での距離を十分に確保するなどの空間的な制約を受けることとなる。また、隣接するチャンネルを近接させて配置した場合には、チャンネル間でのクロストークが問題となる。

## 【0006】

本発明は、以上の問題点を解決するためになされたものであり、空間的な制約を受けることなく、チャンネル間でのクロストークを抑制することが可能な多チャンネルの散乱吸収体計測装置、及び計測方法を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

このような目的を達成するために、本発明による散乱吸収体計測装置は、散乱吸収体に対してその内部情報を非侵襲的に計測するためのパルス光を所定の光照射位置から照射する光照射手段、及び光照射手段から照射されて散乱吸収体の内部を伝搬した光をそれぞれ所定の光検出位置で検出する少なくとも1個の光検出手段をそれぞれ有するN個（Nは2以上の整数）の計測モジュールを備え、N個の計測モジュールに対応するN個の光照射手

段は、散乱吸収体に対して異なる照射タイミングで逐次にパルス光を照射し、光検出手段は、対応する光照射手段での照射タイミングと同期した検出タイミングで光を検出することを特徴とする。

**【0008】**

また、本発明による散乱吸収体計測方法は、散乱吸収体に対してその内部情報を非侵襲的に計測するためのパルス光を所定の光照射位置から照射する光照射手段、及び光照射手段から照射されて散乱吸収体の内部を伝搬した光をそれぞれ所定の光検出位置で検出する少なくとも1個の光検出手段をそれぞれ有するN個（Nは2以上の整数）の計測モジュールを備える計測装置を用い、N個の計測モジュールに対応するN個の光照射手段は、散乱吸収体に対して異なる照射タイミングで逐次にパルス光を照射し、光検出手段は、対応する光照射手段での照射タイミングと同期した検出タイミングで光を検出することを特徴とする。

**【0009】**

上記した散乱吸収体計測装置及び計測方法においては、光照射手段及び光検出手段から構成された計測モジュールを複数個設置して、多チャンネル計測を実現している。また、パルス光を用いるとともに、その照射タイミングと検出タイミングとを同期させることにより、TRS法による計測が可能となっている。

**【0010】**

また、N個の計測モジュールのそれぞれにおける光の照射及び検出を異なるタイミングで行うこととしている。これにより、隣接するチャンネルの計測モジュールが近接する場合であっても、チャンネル間でのクロストークが抑制される。また、計測モジュールの近接配置が許容されることにより、空間的な制約を受けることなく、所望の空間分解能で計測を行うことが可能となる。さらに、N個の計測モジュールで逐次光の照射及び検出を行って計測を一巡させている。これにより、散乱吸収体の内部情報の変化に対して、充分なリアルタイム性をもって内部情報を計測することができる。

**【0011】**

ここで、計測装置は、N個の計測モジュールが有する光照射手段及び光検出手段のそれぞれに対して照射タイミングまたは検出タイミングを指示するタイミング指示手段を備えることが好ましい。これにより、計測装置の動作を好適に制御することができる。あるいは、外部装置等からタイミングを制御する構成としても良い。

**【0012】**

また、照射タイミングが連続する2個の光照射手段の間での照射タイミングの間隔が1  $\mu\text{sec}$  以下であることが好ましい。これにより、内部情報の計測のリアルタイム性を十分に確保することができる。また、このタイミング間隔については、100  $\text{nsec}$  以下の間隔、例えば50～60  $\text{nsec}$  の間隔とすることがさらに好ましい。

**【0013】**

光照射手段の構成については、N個の光照射手段において、それぞれ1個の光照射手段に対してパルス光を供給するようにN個の光源が設置された構成を用いることができる。あるいは、N個の光照射手段において、それぞれ複数個の光照射手段に対してパルス光を供給するようにM個（Mは1以上N未満の整数）の光源が設置された構成を用いることができる。

**【0014】**

また、光検出手段の構成については、複数の光検出手段のうちの一部が、複数の計測モジュールによって共有された構成を用いても良い。あるいは、すべての光検出手段がそれぞれ1個の計測モジュールに属する構成であっても良い。

**【発明の効果】****【0015】**

本発明による散乱吸収体計測装置、及び計測方法は、次のような効果を得る。すなわち、光照射手段及び光検出手段から構成された計測モジュールを複数個設置することにより、散乱吸収体の多チャンネル計測が実現される。また、パルス光を用いるとともに、その

照射タイミングと検出タイミングとを同期させることにより、TRS法による計測が可能となる。

#### 【0016】

また、N個の計測モジュールのそれぞれにおける光の照射及び検出を異なるタイミングで行うこととしている。これにより、隣接するチャンネルの計測モジュールが近接する場合であっても、チャンネル間でのクロストークが抑制される。また、計測モジュールの近接配置が許容されることにより、空間的な制約を受けることなく、所望の空間分解能で計測を行うことが可能となる。さらに、N個の計測モジュールで逐次光の照射及び検出を行って計測を一巡させている。これにより、散乱吸収体の内部情報の変化に対して、充分なリアルタイム性をもって内部情報を計測することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0017】

以下、図面とともに本発明による散乱吸収体計測装置、及び計測方法の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

#### 【0018】

図1は、本発明による散乱吸収体計測装置の第1実施形態の構成を概略的に示すブロック図である。また、図2は、図1に示した散乱吸収体計測装置を用いた散乱吸収体計測方法を示す模式図である。本散乱吸収体計測装置は、近赤外光などの光によるTRS法を用いて散乱吸収体の内部情報を非侵襲的に計測するものである。本計測装置での計測対象となる散乱吸収体としては、例えば生体などがある。また、計測される内部情報としては、例えば生体内でのヘモグロビンの相対濃度や酸素飽和度などがある。

#### 【0019】

図1に示す計測装置は、第1計測モジュール1、及び第2計測モジュール2の2個の計測モジュールを備えている。

#### 【0020】

第1計測モジュール1は、照射プローブ11を含む光照射手段と、第1検出プローブ61を含む第1光検出手段と、第2検出プローブ71を含む第2光検出手段とを有している。照射プローブ11は、散乱吸収体SM（図2参照）上に設定された光照射位置P<sub>10</sub>に対して配置されている。また、この照射プローブ11には、散乱吸収体SMに対してその内部情報を非侵襲的に計測するためのパルス光（例えばピコ秒パルス光）を供給するパルス光源30が光ファイバなどの光学系を介して接続され、これによって本計測モジュール1における光照射手段が構成されている。光源30から供給された所定波長のパルス光は、光ファイバ及び照射プローブ11を通過し、散乱吸収体SMに対して光照射位置P<sub>10</sub>から照射される。なお、パルス光源30としては、具体的な計測方法等に応じて、1波長のパルス光を供給する短パルス光源、または図2に例示するようにそれぞれ異なる波長のパルス光を供給する複数の短パルス光源からなる光源ユニットが用いられる。

#### 【0021】

検出プローブ61は、散乱吸収体SM上に設定された第1光検出位置P<sub>11</sub>に対して配置されている。また、この検出プローブ61には、照射プローブ11から照射されて散乱吸収体SMの内部を伝搬した光を検出するための光検出器60が光ファイバなどの光学系を介して接続され、これによって第1光検出手段が構成されている。散乱吸収体SMの光検出位置P<sub>11</sub>へ入射された光は、検出プローブ61及び光ファイバを通過し、光検出器60においてその光強度が検出される。また、検出プローブ61及び光検出器60の間には、検出プローブ61から光検出器60への光の通過を制御するシャッター61aが設置されている。

#### 【0022】

同様に、検出プローブ71は、散乱吸収体SM上に設定された第2光検出位置P<sub>12</sub>に対して配置されている。また、この検出プローブ71には、光検出器70が光ファイバ等を

介して接続され、これによって第2光検出手段が構成されている。散乱吸収体SMの光検出位置P<sub>12</sub>へ入射された光は、検出プローブ71及び光ファイバを通過し、光検出器70においてその光強度が検出される。また、検出プローブ71及び光検出器70の間には、シャッター71aが設置されている。

#### 【0023】

また、光検出器60、70から出力される検出信号に対して、それぞれ信号処理回路62、72、A/D変換器63、73、メモリ64、74が設けられている。これらの回路系は、離散的なパルス状の光を検出して積算する時間相関単一光子計数法を用いた計測が可能のように構成されている。

#### 【0024】

具体的には、信号処理回路62、72は、光検出器60、70からの検出信号に対し、検出光の強度情報または時間情報等を取得するために必要な信号処理を行う。この信号処理回路62、72は、例えば図2に示すように、入力した光による検出信号とノイズ信号とを弁別する波高弁別器(CFD)62a、72a、及び時間情報を電圧に変換する時間-振幅変換器(TAC)62b、72bから構成することができる。

#### 【0025】

また、A/D変換器63、73は、信号処理回路62、72からの電気信号をデジタル信号へと変換する。そして、A/D変換器63、73から出力されたデジタル信号は、それぞれヒストグラムメモリ64、74に格納されて、検出光の時間分解波形の生成、及びそれを用いた散乱吸収体SMの内部情報の導出などに用いられる。なお、光検出器60、70としては、図2に例示する光電子増倍管(PMT)やフォトダイオードなど、様々な光検出器を用いることができる。

#### 【0026】

一方、第2計測モジュール2は、照射プローブ21を含む光照射手段と、第1検出プローブ81を含む第1光検出手段と、第2検出プローブ91を含む第2光検出手段とを有している。照射プローブ21は、散乱吸収体SM上に設定された光照射位置P<sub>20</sub>に対して配置されている。また、この照射プローブ21には、パルス光源30が光ファイバ等を介して接続され、これによって本計測モジュール2における光照射手段が構成されている。すなわち、本実施形態においては、1個のパルス光源30が2個の計測モジュール1、2に対する共通の光源として設置されており、光源30から供給されたパルス光が分岐されて計測モジュール1、2において用いられている。

#### 【0027】

また、計測モジュール2においては、光源30と照射プローブ21との間に、光源30から供給されたパルス光を所定時間 $\Delta T$ だけ遅延させる光遅延器22が設けられている。光源30から供給された所定波長のパルス光は、光ファイバ、光遅延器22、及び照射プローブ21を通過し、散乱吸収体SMに対して光照射位置P<sub>20</sub>から照射される。光遅延器22としては、例えば所定長さ(光路長)の光ファイバを用いることができる。

#### 【0028】

検出プローブ81は、散乱吸収体SM上に設定された第1光検出位置P<sub>21</sub>に対して配置されている。また、この検出プローブ81には、光検出器80が光ファイバ等を介して接続され、これによって第1光検出手段が構成されている。散乱吸収体SMの光検出位置P<sub>21</sub>へ入射された光は、検出プローブ81及び光ファイバを通過し、光検出器80においてその光強度が検出される。また、検出プローブ81及び光検出器80の間には、シャッター81aが設置されている。

#### 【0029】

同様に、検出プローブ91は、散乱吸収体SM上に設定された第2光検出位置P<sub>22</sub>に対して配置されている。また、この検出プローブ91には、光検出器90が光ファイバ等を介して接続され、これによって第2光検出手段が構成されている。散乱吸収体SMの光検出位置P<sub>22</sub>へ入射された光は、検出プローブ91及び光ファイバを通過し、光検出器90においてその光強度が検出される。また、検出プローブ91及び光検出器90の間には、

シャッター 91a が設置されている。

#### 【0030】

また、光検出器 80、90 から出力される検出信号に対して、それぞれ信号処理回路 82、92、A/D 変換器 83、93、メモリ 84、94 が設けられている。計測モジュール 2 におけるこれらの回路系の構成は、計測モジュール 1 における回路系と同様である。

#### 【0031】

これらの計測モジュール 1、2 を備える計測装置に対して、計測装置の各部の動作タイミングを制御するトリガ回路 50 が設置されている。このトリガ回路 50 は、計測モジュール 1、2 が有する光照射手段及び光検出手段のそれぞれに対してパルス光の照射タイミングまたは光の検出タイミングを指示するタイミング指示手段である。

#### 【0032】

図 3 は、図 1 に示した散乱吸収体計測装置の動作を示すタイミングチャートである。ここで、図 3 (a) は計測モジュール 1、2 において照射されるパルス光を示し、図 3 (b) は計測モジュール 1 の信号処理回路に入力される検出信号及びトリガ信号を示し、図 3 (c) は計測モジュール 2 の信号処理回路に入力される検出信号及びトリガ信号を示している。

#### 【0033】

本実施形態においては、トリガ回路 50 は、図 3 (a) ~ (c) に破線  $S_{t0}$  で示すように、1 個のパルス光源 30 に対して、計測モジュール 1、2 のそれぞれにおける照射プロープ 11、21 からのパルス光の照射タイミングを指示するトリガ信号を送出する。

#### 【0034】

トリガ信号に応じて光源 30 から出射されたパルス光は、計測モジュール 1 では、光遅延器を介さずに、照射プロープ 11 から所定の照射タイミングでパルス光  $A_1$  として散乱吸収体 SM に照射される。また、計測モジュール 2 では、光遅延器 22 で所定時間  $\Delta T$  だけ遅延され、照射プロープ 21 からパルス光  $A_2$  として散乱吸収体 SM に照射される (図 3 (a))。これにより、2 個の計測モジュール 1、2 に対応する照射プロープ 11、21 から、散乱吸収体 SM に対してタイミング間隔  $\Delta T$  の異なる照射タイミングで逐次にパルス光が照射される。

#### 【0035】

第 1 計測モジュール 1 において照射プロープ 11 からパルス光  $A_1$  が照射されると、光路  $L_{11}$  (図 2 参照) を通った光成分が検出プロープ 61 へと到達し、光検出器 60 によって検出される。光検出器 60 で検出された検出信号は CFD 62a へ送られ、CFD 62a はパルス光  $A_1$  の照射タイミングから時間  $T_1$  だけ遅れた検出信号  $C_1$  を出力する (図 3 (b))。光検出器 70 による光路  $L_{12}$  を通った光成分の検出も同様に行われる。

#### 【0036】

一方、トリガ回路 50 は、この計測モジュール 1 に属する 2 個の信号処理回路 62、72 に対して、照射プロープ 11 からのパルス光  $A_1$  の照射タイミングに同期した所定の検出タイミングで光を検出するためのトリガ信号を送出する。例えば、CFD 62a からの検出信号  $C_1$  が TAC 62b に対してスタート信号として入力されている場合、トリガ回路 50 は、TAC 62b でストップ信号として用いられるパルス光  $A_1$  の照射タイミングから時間  $T_0$  だけ遅れたトリガ信号  $B_1$  を送出的 (図 3 (b))。これにより、光検出器 60 の検出信号が時間分解計測される。光検出器 70 から信号処理回路 72 へと入力された検出信号の時間分解計測も同様に行われる。

#### 【0037】

続いて、第 2 計測モジュール 2 において照射プロープ 21 からパルス光  $A_2$  が照射されると、光路  $L_{21}$  を通った光成分が検出プロープ 81 へと到達し、光検出器 80 によって検出される。光検出器 80 で検出された検出信号は CFD 82a へ送られ、CFD 82a はパルス光  $A_2$  の照射タイミングから時間  $T_2$  だけ遅れた検出信号  $C_2$  を出力する (図 3 (c))。光検出器 90 による光路  $L_{22}$  を通った光成分の検出も同様に行われる。

#### 【0038】



一方、トリガ回路50は、この計測モジュール2に属する2個の信号処理回路82、92に対して、照射プローブ21からのパルス光A<sub>2</sub>の照射タイミングに同期した所定の検出タイミングで光を検出するためのトリガ信号、例えばTACでのストップ信号として用いられるトリガ信号B<sub>2</sub>を送出する(図3(c))。これにより、光検出器80からの検出信号、及び光検出器90からの検出信号が時間分解計測される。

#### 【0039】

以上により、2個の計測モジュール1、2で逐次光の照射及び検出を行う計測の一巡が終了する。そして、このような計測を多数回にわたって繰返し、それらの検出結果を積算することにより、TRS法による散乱吸収体の内部情報の計測に用いられる検出光の時間分解波形が得られる。図3(d)においては、その例として、図3(b)に示した計測モジュール1での検出信号C<sub>1</sub>及びトリガ信号B<sub>1</sub>により求めた時間-電圧変換信号を積算した時間分解波形D<sub>1</sub>を示している。なお、トリガ回路50は、信号処理回路に加えて、検出プローブ及び光検出器の間に設けられたシャッターの動作タイミング等をも併せて制御しても良い。また、ゲーティング機能を備えた光検出器を使用する場合には、シャッターに替えて、光検出器をON/OFFさせるゲート動作のタイミングをトリガ回路50から制御しても良い。

#### 【0040】

また、図1～図3においては、簡単のため、計測モジュールの個数を2個としているが、一般には、N個(Nは2以上の整数)の計測モジュールを備えて計測装置を構成することができる。また、各計測モジュールが有する光検出手段(検出プローブ)の個数については、一般には少なくとも1個、すなわち1個または複数個とすることができる。

#### 【0041】

上記実施形態による散乱吸収体計測装置、及び計測方法の効果について説明する。

#### 【0042】

図1～図3に示した計測装置、及び計測方法においては、照射プローブを含む光照射手段、及び検出プローブを含む光検出手段から構成された計測モジュールを複数個設置することによって、画像データの取得等が可能な多チャンネルでの散乱吸収体計測が実現されている。また、計測用の光としてCW光ではなくパルス光を用いるとともに、光照射手段でのパルス光の照射タイミングと、対応する光検出手段での光の検出タイミングとを同期させることにより、TRS法による計測が可能となっている。

#### 【0043】

また、2個の計測モジュール1、2のそれぞれにおける光の照射及び検出を、互いに異なるタイミングで行うこととしている。これにより、隣接するチャンネルの計測モジュール1、2が散乱吸収体SM上で近接して配置される場合であっても、チャンネル間でのクロストークが抑制される。さらに、このクロストークの抑制により、計測モジュールの近接配置が許容される。これにより、空間的な制約を受けることなく、所望の空間分解能で計測を行うことが可能となる。

#### 【0044】

図4は、散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の一例を示す図である。この図では、4個の計測モジュール1A～4Aが近接配置された構成例を示している。これらの計測モジュール1A～4Aのうち、左上の計測モジュール1Aは、照射プローブ100と、照射プローブ100を中心とする正方形の各頂点に配置された4個の検出プローブ101～104とを有して構成されている。また、左下の計測モジュール2A、右上の計測モジュール3A、及び右下の計測モジュール4Aについても同様の構成となっている。

#### 【0045】

生体計測等においてその内部情報に時間変化がある場合、各計測モジュールでの光の照射及び検出は同時に行われることが好ましい。しかしながら、図4に示したような構成では、計測モジュール1A～4Aでの各照射プローブからのパルス光の照射を同時に行うと、例えば、計測モジュール2Aに属する検出プローブのうちで計測モジュール1A側に位置する検出プローブ201、203には、計測モジュール2Aの照射プローブ200から

の光のみでなく、隣接する計測モジュール1Aの照射プローブ100からの光も入射してしまい、チャンネル間でのクロストークが発生する。

#### 【0046】

これに対して、光の照射及び検出を上記のように異なるタイミングで逐次に行うことにより、図5(a)～(d)に図4に示す構成例での動作のタイミングチャートを示すように、隣接するチャンネル間でのクロストークの発生を防止しつつ計測を行うことができる。

#### 【0047】

また、上記実施形態の計測装置及び計測方法では、N個(図1に示した例では2個、図4に示した例では4個)の計測モジュールで逐次に光の照射及び検出を行って計測を一巡させ、それを複数回にわたって繰返して検出光の時間分解計測を行っている。

#### 【0048】

例えば、図3(d)に示したような検出光の積算時間分解波形を得る方法としては、計測モジュールで多数回の計測を連続的に行って積算時間分解波形を取得するとともに、そのような計測を順に各計測モジュールで行う方法が考えられる。

(例えば、H. Eda et al., Review of Scientific Instruments Vol. 70, p.3595 (1999).

(非特許文献1)を参照)。しかしながら、このような方法では、1個の計測モジュールにおいて時間分解波形を得るために多数回の計測を行わなければならない、計測モジュール毎に計測タイミングが大きすぎる(例えば1～数秒程度)こととなる。このような計測タイミングのずれは、例えば、生体内の酸素化、脱酸素化ヘモグロビンの経時変化を計測するような場合に特に問題となる。

#### 【0049】

これに対して、複数の計測モジュールでの計測を、1回ずつ計測モジュールを切り換えて逐次に行うことにより、計測モジュール間での計測タイミングのずれはパルス光の照射タイミングの間隔 $\Delta T$ 程度となる。これにより、散乱吸収体の内部情報の変化に対して、充分なリアルタイム性をもって内部情報を計測することが可能となる。

#### 【0050】

この計測タイミングについては、パルス光の照射タイミングが連続する2個の光照射手段(2個の計測モジュール)の間での照射タイミングの間隔 $\Delta T$ を $1\mu\text{sec}$ 以下とすることが好ましい。これにより、例えば生体計測レベル(約 $100\text{msec}$ 以上)などの散乱吸収体の計測レベルに対して、内部情報の計測のリアルタイム性を充分に確保することができる。また、このタイミング間隔 $\Delta T$ については、 $100\text{nsec}$ 以下の間隔、例えば $50\sim60\text{nsec}$ の間隔とすることがさらに好ましい。

#### 【0051】

また、図1に示した構成では、計測装置において、計測モジュール1、2に対して光の照射タイミング及び検出タイミングを指示するタイミング指示手段としてトリガ回路50を設けている。これにより、計測装置の動作を好適に制御することができる。ただし、このようなタイミングの指示については、外部装置等からタイミングを制御する構成としても良い。

#### 【0052】

なお、特開2001-178708号公報(特許文献2)には、複数の光照射器及び光検出器を被検査体上に配置することが記載されている。しかしながら、この装置では、単に光照射器と光検出器を交互に配置した構成となっており、複数の計測モジュールからなる構成とはなっていない。これに対して、図1に示した計測装置では、光照射手段と光検出手段とを対応付けて計測モジュールを構成してそれを複数個設置し、各計測モジュールにおいて光の照射と検出とを同期させた時間分解計測を行うとともに、複数の計測モジュール間での逐次計測を行っている。これにより、上述したように、空間的な制約を受けることなく、かつ、チャンネル間でのクロストークを抑制することが可能な多チャンネルの計測装置を実現することができる。

#### 【0053】

また、複数の計測モジュールを備える計測装置の構成については、上述したように、一般には、光照射手段、及び少なくとも1個の光検出手段をそれぞれ有するN個（Nは2以上の整数）の計測モジュールを備える計測装置に対して、上記した構成を適用することができる。また、それらの計測モジュールの配置についても、様々な配置を用いることができる。

#### 【0054】

図6、及び図7（a）～（c）は、散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の他の例を示す図である。図6に示す構成例では、図4に示した計測モジュール1A～4Aと同様の構成を有する4個の計測モジュール1B～4Bが、互いに一部重なり合うように配置されている。この場合には、隣接する光検出位置間の距離は、図4の場合の略1/2である。このように、上記構成の計測装置及び計測方法によれば、散乱吸収体に対して照射プローブ及び検出プローブを高密度で配置して、高分解能で計測を行うことが可能である。

#### 【0055】

図7（a）～（c）では、計測対象の散乱吸収体として生体の頭部を想定した場合の計測モジュールの配置例を示している。いずれの配置例においても、各計測モジュールの中心に照射プローブが位置し、その周辺に複数の検出プローブが配置された構成となっている。

#### 【0056】

図7（a）の構成例では、正六角形のプローブ配置を有する2個の計測モジュール1C、2Cが、クロストークが問題とならない十分な距離をおいて配置されている。また、図7（b）の構成例では、正五角形のプローブ配置を有する2個の計測モジュール1D、2Dが、互いに一部重なり合うように配置されている。また、図7（c）の構成例では、長方形のプローブ配置を有する3個の計測モジュール1E、2E、3Eが、互いに近接または一部重なり合うように配置されている。

#### 【0057】

このように、本発明による散乱吸収体計測装置においては、様々な計測モジュールの配置を適用することが可能である。ただし、各計測モジュールの構成については、正多角形のプローブ配置など、光照射位置－光検出位置間の距離が等しくなるプローブ配置とすることが好ましい。

#### 【0058】

なお、照射プローブと検出プローブとが極めて近い位置、または同じ位置にある場合、検出プローブに接続されている光検出器を保護するため、メカニカルまたは液晶等によるシャッターで遮光を行うことが好ましい。また、ゲーティング機能を備えた光検出器を使用する場合には、光検出器をON/OFFさせるゲート動作のタイミングをトリガ回路50から制御することが好ましい。その場合、照射プローブから光を照射している間、光検出器の動作を停止させるようなゲート動作を行えば良い。なお、ゲーティングとは、PMTを例にすると、計測において電氣的にPMTをスイッチングして、所望の時間幅の信号のみを計測することをいう。このゲーティング機能を利用すれば、シャッターに替えて、過大な光入射から光検出器を保護することができる。また、高速の光検出器として、ストリークカメラを用いても良い。また、照射プローブ及び検出プローブとしては、検出用光ファイバが照射用光ファイバを中心として周上に複数配置されたバンドルファイバを用いても良い。

#### 【0059】

上記構成の計測装置及び計測方法による隣接チャンネル間でのクロストークの抑制効果についてさらに説明する。

#### 【0060】

図8は、光照射位置－光検出位置間の距離を変えたときの時間分解波形データを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は時間（channel）を、縦軸はカウント数（log）を示している。また、グラフG1は光照射位置－光検出位置間の距離＝4cmでの波形データ、グラフG2は距離＝6cmでの波形データ、グラフG3は距離＝8cm

での波形データ、グラフ G 4 は距離 = 10 cm での波形データをそれぞれ示している。なお、横軸は、2000 ch が約 50 nsec に相当している。

#### 【0061】

この波形データでは、散乱吸収体に照射するパルス光として、波長 760、800、830 nm の 3 波長の短パルスレーザ光を用いている。これに対応して、図 8 に示す各グラフでは、3 波長に対応する 3 つのピークを持つ時間分解波形が得られている。また、光照射位置—光検出位置間の距離が離れるほど光強度が低下するためにピーク高さが低くなっており、ピークの重心位置は時間遅れのために後方にずれている。

#### 【0062】

実際の計測を行う際の光照射位置—光検出位置間の距離は、例えば 2.5 cm ~ 4 cm 程度である。図 9 に示すように、計測モジュール 1 における照射プローブ 100 と検出プローブ 101 との距離を 4 cm、隣接する計測モジュール 2 の照射プローブ 200 と検出プローブ 101 との距離を 6 cm とすると、図 8 のグラフ G 1、G 2 からわかるように、照射プローブ 100、200 から同時にパルス光を照射した場合には、隣接する計測モジュール間でのクロストークの影響は小さくない。

#### 【0063】

これに対して、例えば隣接する計測モジュール 2 の照射プローブ 200 と検出プローブ 101 との距離を 8 cm 以上とすれば、クロストークの影響は低減されるが、一方で計測モジュール同士を近接して配置できず、計測に大きな制約がつくこととなる。さらに、図 10 (a) に示すように隣接する計測モジュール 1、2 同士が接する場合、あるいは図 10 (b) に示すように隣接する計測モジュール 1、2 同士が一部重なり合う場合には、正確な計測が不可能となってしまう。

#### 【0064】

例えば、図 10 (a) に示す構成では、4 cm 離れた照射プローブ 200 からの光が、検出プローブ 101 において図 11 (a) のグラフに示すように計測される。これに対して、図 10 (a) に示す構成において、複数の計測モジュールで逐次に同期計測を行う上記方法によれば、照射プローブ 200 からの光は、検出プローブ 101 においては図 11 (b) のグラフに示すように計測されない。このように、複数の計測モジュールでの計測タイミングの間隔を適切（例えば 50 nsec）に設定して逐次計測を行うことにより、プローブ配置等に関して空間的な制約を受けることなく、かつ、チャンネル間でのクロストークを抑制することが可能となる。

#### 【0065】

次に、上記した計測装置及び計測方法において用いられる TRS 法による散乱吸収体の内部情報の計測、及びその利点等について、生体における酸素化ヘモグロビン ( $\text{HbO}_2$ ) 及び脱酸素化ヘモグロビン ( $\text{Hb}$ ) の濃度計測を例として説明する。

#### 【0066】

光を用いた生体計測では、生体内の酸素を直接計測することができないが、酸素代謝に関与する血液中のヘモグロビンなどの色素蛋白は、酸素と結合した状態と解離した状態で光の吸収スペクトルが異なるため、これを利用して間接的に生体内の酸素代謝についての情報を得ることができる。

#### 【0067】

酸素化ヘモグロビン及び脱酸素化ヘモグロビンの吸収スペクトル（光吸収特性の波長依存性）を図 12 に示す。ヘモグロビンの吸収スペクトルでは、600 nm 以下の波長領域では光の減衰が大きく透過光を計測することは難しいが、近赤外光（生体内で減衰の小さい波長、例えば、波長 700 ~ 1100 nm の光）を用いれば、そのような透過光計測が可能である。

#### 【0068】

生体組織を透過した近赤外光に対する吸光度  $A$  は、Beer-Lambert 則を応用して、ほぼ以下の (1) 式のように表される。

#### 【0069】

## 【数1】

$$A = \log(I_0 / I) \\ = \{ \varepsilon_{HbO_2} [HbO_2] + \varepsilon_{Hb} [Hb] \} L + S \quad \dots (1)$$

ここで、 $I_0$ は入射光量、 $I$ は透過光量、 $\varepsilon_{HbO_2}$ はHbO<sub>2</sub>の吸光係数、 $\varepsilon_{Hb}$ はHbの吸光係数、 $[HbO_2]$ は酸素化ヘモグロビンの濃度、 $[Hb]$ は脱酸素化ヘモグロビンの濃度、 $L$ は実効的光路長、 $S$ は散乱による減光度である。実際にこの(1)式を用いてヘモグロビンの濃度を算出する場合には、近赤外光領域内にあるいくつかの波長の光が用いられる。図12には、その例として、760nm、800nm、830nmの3つの波長を示している。

## 【0070】

このような光計測において、計測用の光としてCW光を用いる計測方法では、検出される光の散乱吸収体内での光路長に関する情報が不足することが定量測定を行う上で問題となる。一方、パルス光を用いたTRS法による計測方法では、光路長に関する情報を含む様々な情報を得ることができるという利点がある。

## 【0071】

生体などの散乱吸収体内での光の振舞いは、光に対する散乱係数、吸収係数、及び光照射位置—光検出位置間の距離を関数とした光拡散方程式によって記述される。例えば、半無限媒質に対して時間的に充分短いパルス光を入射した場合、入射点と同一面上の位置 $r$ での時刻 $t$ における光強度 $R(\rho, t)$ は、(2)式で表される。

## 【0072】

## 【数2】

$$R(\rho, t) = (4\pi Dc)^{-3/2} z_0 t^{-5/2} \exp(-\mu_a c t) \exp\left(-\frac{\rho^2 + z_0^2}{4Dc}\right) \quad \dots (2)$$

ここで、 $\rho$ (cm)は光検出器の位置、 $t$ (sec)はパルス光が入射されてからの時間、 $D$ (cm)は拡散係数 $D = 1/3\mu_s'$ 、 $\mu_s'$ (cm<sup>-1</sup>)は等価散乱係数、 $c$ (cm/sec)は媒質中での光の速度、 $z_0$ (cm)は $z_0 = 1/\mu_s'$ 、 $\mu_a$ (cm<sup>-1</sup>)は吸収係数である。パルス光を用いたTRS法による散乱吸収体計測で得られる時間分解波形を、この光拡散方程式を用いて解析することにより、光に対する吸収係数及び散乱係数が算出される。そして、吸収係数と、吸収物質(例えばヘモグロビン)の濃度との関係を利用することにより、散乱吸収体内での吸収物質の濃度定量が可能となる。

## 【0073】

このような散乱吸収体計測方法を用いた光マッピングや光CTでは、例えば、生体内での酸素濃度の分布を2次元または3次的に求めることが目標の1つとなっている。光CTは、PETやfMRIなどに比べて簡便、安全、かつ非侵襲に連続して計測可能な画像診断方法として注目されている。このような光マッピング(2次元または3次元を含む)や光CTによる画像再構成を行うためには、生体についての多くの内部情報を取得することが必要となるが、CW光を用いた計測では得られる情報が限られる。これに対して、TRS法を用いた計測では、1つの光源—光検出器のペアでも例えば500点以上のデータから構成される波形データにより非常に多くの情報を取得することができ、画像再構成等を行う上で有利である。

## 【0074】

図13は、TRS法を用いた散乱吸収体計測によって得られる時間分解波形の一例を示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は時間 $t$ (ns)を示し、縦軸は検出される光強度(a. u.)を示している。このような波形データにおいて、 $t = t_1 = 2$ nsでの時間成分、 $t_2 = 8$ nsでの時間成分、及び $t_3 = 20$ nsでの時間成分をそれぞれ選択することを考える。

## 【0075】

図14は、(a)  $t = t_1$ 、(b)  $t = t_2$ 、及び(c)  $t = t_3$ で検出された光成分に対応する散乱吸収体SM内での光路分布を模式的に示す図である。ここでは1辺が80mmの2次元平面モデルを用い、光照射位置 $P_0$ と光検出位置 $P_1$ との距離を75mmとしている。

## 【0076】

光照射位置 $P_0$ と光検出位置 $P_1$ との間で図13に示した時間分解波形データを取得した場合、その波形データでは、検出時間 $t$ によって対応する光成分の散乱吸収体SM内での光路分布が変化する。具体的には、図14(a)～(c)に示すように、時間 $t$ が遅くなると散乱吸収体SM内での光路長が長くなり、その光路分布の深さが深くなる。したがって、TRS法によって計測を行い、得られた時間分解波形データで検出時間 $t$ によって光成分を選択することにより、同一の計測位置 $P_0$ 、 $P_1$ で、散乱吸収体内での深さ情報を選択することができる。

## 【0077】

TRS法における散乱吸収体内での深さ情報の選択について、図15を用いてさらに説明する。ここでは、図15(a)に示すプローブ配置において、散乱吸収体上に設定された3つの計測位置 $P_0$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ を用いた計測を考える。これらの計測位置は、 $P_1$ 、 $P_0$ 、 $P_2$ の順で等間隔に並んでいる。

## 【0078】

このような構成において、計測対象となる散乱吸収体SMに対して、各計測位置が設定されている表面から深さ $d$ までの領域(第1層) $R_1$ と、深さ $d$ 以上の領域(第2層) $R_2$ とを、内部情報を得ようとする領域として設定する。このような領域は、例えば、生体計測においてその表皮から体内への層構造に対応して設定される。

## 【0079】

このように複数の計測領域を設定した場合、CW光を用いた計測方法では深さ情報を選択することができないため、図15(b)、(c)に示すように、計測位置間の距離を変えることが必要となる。すなわち、浅い領域 $R_1$ について計測を行うには、 $P_0$ を光照射位置、 $P_1$ 、 $P_2$ を光検出位置として、光照射位置—光検出位置間の距離を短くする。一方、深い領域 $R_2$ について計測を行うには、 $P_1$ を光照射位置、 $P_2$ を光検出位置として、光照射位置—光検出位置間の距離を長くする。このような計測では、光照射位置及び光検出位置を切り換える必要があるために、領域 $R_1$ 、 $R_2$ のデータを同時には取得することができない。また、計測位置 $P_1$ については、光照射手段及び光検出手段の両方の機能を兼ねる同軸ファイバなどのプローブを用いる必要がある。

## 【0080】

これに対して、TRS法を用いた計測方法では、上述したように検出時間 $t$ で光成分を選択することによって深さ情報を選択することができる。したがって、図15(b)、(d)に示すように、 $P_0$ を光照射位置、 $P_1$ 、 $P_2$ を光検出位置とした同一の配置のままで、領域 $R_1$ 、 $R_2$ のそれぞれについて同時に計測を行うことができる。このように、TRS法を用いた散乱吸収体計測では、時間分解波形データによって非常に多くの情報を効率的に取得することが可能である。

## 【0081】

本発明による散乱吸収体計測装置、及び計測方法についてさらに説明する。

## 【0082】

図16は、本発明による散乱吸収体計測装置の第2実施形態の構成を概略的に示すブロック図である。図16に示す計測装置は、第1計測モジュール1、及び第2計測モジュール2の2個の計測モジュールを備えている。

## 【0083】

第1計測モジュール1は、照射プローブ11を含む光照射手段と、第1検出プローブ61を含む第1光検出手段と、第2検出プローブ71を含む第2光検出手段とを有している。これらのうち、光照射手段における照射プローブ11、第1光検出手段における検出プ



ロープ 61、光検出器 60、及び回路系、第 2 光検出手段における検出プローブ 71、光検出器 70、及び回路系の構成については、図 1 に示した構成と同様である。

#### 【0084】

照射プローブ 11 には、散乱吸収体 SM (図 2 参照) に対してその内部情報を非侵襲的に計測するためのパルス光を供給するパルス光源 10 が光ファイバなどの光学系を介して接続され、これによって本計測モジュール 1 における光照射手段が構成されている。光源 10 から供給された所定波長のパルス光は、光ファイバ及び照射プローブ 11 を通過し、散乱吸収体 SM に対して光照射位置  $P_{10}$  から照射される。

#### 【0085】

一方、第 2 計測モジュール 2 は、照射プローブ 21 を含む光照射手段と、第 1 検出プローブ 81 を含む第 1 光検出手段と、第 2 検出プローブ 91 を含む第 2 光検出手段とを有している。これらのうち、光照射手段における照射プローブ 21、第 1 光検出手段における検出プローブ 81、光検出器 80、及び回路系、第 2 光検出手段における検出プローブ 91、光検出器 90、及び回路系の構成については、図 1 に示した構成と同様である。

#### 【0086】

照射プローブ 21 には、パルス光源 20 が光ファイバ等を介して接続され、これによって本計測モジュール 2 における光照射手段が構成されている。すなわち、本実施形態においては、2 個のパルス光源 10、20 が 2 個の計測モジュール 1、2 に対する個別の光源として設置されており、光源 10、20 から供給されたパルス光がそれぞれ計測モジュール 1、2 において用いられている。光源 20 から供給された所定波長のパルス光は、光ファイバ及び照射プローブ 21 を通過し、散乱吸収体 SM に対して光照射位置  $P_{20}$  から照射される。

#### 【0087】

これらの計測モジュール 1、2 を備える計測装置に対して、計測装置の各部の動作タイミングを制御するトリガ回路 50 が設置されている。このトリガ回路 50 は、計測モジュール 1、2 が有する光照射手段及び光検出手段のそれぞれに対してパルス光の照射タイミングまたは光の検出タイミングを指示するタイミング指示手段である。

#### 【0088】

図 17 は、図 16 に示した散乱吸収体計測装置の動作を示すタイミングチャートである。ここで、図 17 (a) は計測モジュール 1 において照射されるパルス光を示し、図 17 (b) は計測モジュール 1 の信号処理回路に入力される検出信号及びトリガ信号を示し、図 17 (c) は計測モジュール 2 において照射されるパルス光を示し、図 17 (d) は計測モジュール 2 の信号処理回路に入力される検出信号及びトリガ信号を示している。

#### 【0089】

本実施形態においては、トリガ回路 50 は、図 17 (a)、(b) に破線  $S_{t1}$  で、また、図 17 (c)、(d) に破線  $S_{t2}$  で示すように、2 個のパルス光源 10、20 のそれぞれに対して、計測モジュール 1、2 のそれぞれにおける照射プローブ 11、21 からのパルス光の照射タイミングを指示するトリガ信号を送出する。

#### 【0090】

トリガ信号に応じて光源 10、20 から出射されたパルス光は、計測モジュール 1、2 のいずれにおいても、光遅延器等を介さずに、照射プローブ 11、21 から所定の照射タイミングでパルス光  $A_1$ 、 $A_2$  として散乱吸収体 SM に照射される。また、パルス光源 20 に対するトリガ信号は、パルス光源 10 に対するトリガ信号から所定時間  $\Delta T$  だけ遅延して送出される (図 17 (a)、(c))。これにより、2 個の計測モジュール 1、2 に対応する照射プローブ 11、21 から、散乱吸収体 SM に対してタイミング間隔  $\Delta T$  の異なる照射タイミングで逐次にパルス光が照射される。

#### 【0091】

第 1 計測モジュール 1 において照射プローブ 11 からパルス光  $A_1$  が照射されると、検出プローブ 61 へと到達した光成分が、光検出器 60 によって検出される。光検出器 60 は、この検出光に対応して、パルス光  $A_1$  の照射タイミングから時間  $T_1$  だけ遅れた検出信

号C<sub>1</sub>を出力する(図17(b))。光検出器70による光成分の検出も同様に行われる。

#### 【0092】

一方、トリガ回路50からの光源10に対するトリガ信号は分岐されて、この計測モジュール1に属する2個の信号処理回路62、72に対しても送られている。分岐されたトリガ信号は遅延回路51を介し、照射プローブ11からのパルス光A<sub>1</sub>の照射タイミングに同期した所定の検出タイミングで光を検出するためのトリガ信号、例えばTACでのストップ信号として用いられるトリガ信号B<sub>1</sub>、として信号処理回路62、72へと入力される(図17(b))。これにより、光検出器60からの検出信号、及び光検出器70からの検出信号が時間分解計測される。

#### 【0093】

続いて、第2計測モジュール2において照射プローブ21からパルス光A<sub>2</sub>が照射されると、検出プローブ81へと到達した光成分が、光検出器80によって検出される。光検出器80は、この検出光に対応して、パルス光A<sub>2</sub>の照射タイミングから時間T<sub>2</sub>だけ遅れた検出信号C<sub>2</sub>を出力する(図17(d))。光検出器90による光成分の検出も同様に行われる。

#### 【0094】

一方、トリガ回路50からの光源20に対するトリガ信号は分岐されて、この計測モジュール2に属する2個の信号処理回路82、92に対しても送られている。分岐されたトリガ信号は遅延回路52を介し、照射プローブ21からのパルス光A<sub>2</sub>の照射タイミングに同期した所定の検出タイミングで光を検出するためのトリガ信号、例えばTACでのストップ信号として用いられるトリガ信号B<sub>2</sub>、として信号処理回路82、92へと入力される(図17(d))。これにより、光検出器80からの検出信号、及び光検出器90からの検出信号が時間分解計測される。

#### 【0095】

以上により、2個の計測モジュール1、2で逐次光の照射及び検出を行う計測の一巡が終了する。そして、このような計測を多数回にわたって繰返し、それらの検出結果を積算することにより、TRS法による散乱吸収体の内部情報の計測に用いられる検出光の時間分解波形が得られる。なお、トリガ回路50は、信号処理回路に加えて、検出プローブ及び光検出器の間に設けられたシャッターの動作タイミング等をも併せて制御しても良い。また、ゲーティング機能を備えた光検出器を使用する場合には、シャッターに替えて、光検出器をON/OFFさせるゲート動作のタイミングをトリガ回路50から制御しても良い。

#### 【0096】

上記実施形態による散乱吸収体計測装置、及び計測方法の効果について説明する。

#### 【0097】

図16、17に示した計測装置、及び計測方法においては、計測モジュールを複数個設置することによって、多チャンネルでの散乱吸収体計測が実現されている。また、パルス光を用いるとともに、パルス光の照射タイミングと光の検出タイミングとを同期させることにより、TRS法による計測が可能となっている。

#### 【0098】

また、2個の計測モジュール1、2のそれぞれにおける光の照射及び検出を、互いに異なるタイミングで行うこととしている。これにより、隣接するチャンネルの計測モジュール1、2が散乱吸収体SM上で近接して配置される場合であっても、チャンネル間でのクロストークが抑制される。さらに、計測モジュールの近接配置が許容される。これにより、空間的な制約を受けることなく、所望の空間分解能で計測を行うことが可能となる。

#### 【0099】

また、上記実施形態の計測装置及び計測方法では、N個(図16に示した例では2個)の計測モジュールで逐次に光の照射及び検出を行って計測を一巡させ、それを複数回にわたって繰返して検出光の時間分解計測を行っている。このように、複数の計測モジュール



での計測を、1回ずつ計測モジュールを切り換えて逐次に行うことにより、計測モジュール間での計測タイミングのずれはパルス光の照射タイミングの間隔 $\Delta T$ 程度となる。これにより、散乱吸収体の内部情報の変化に対して、充分なりアルタイム性をもって内部情報を計測することが可能となる。

#### 【0100】

本発明による散乱吸収体計測装置、及び計測方法は、上記した実施形態に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、各計測モジュールに設けられる光検出手段（検出プローブ）の個数については、1個または複数個で適宜設定して良い。また、照射プローブ及び検出プローブの具体的な配置等についても、様々な構成を用いることができる。

#### 【0101】

また、散乱吸収体に対してパルス光を照射する光照射手段の構成については、図16に示したような構成では、一般には、N個の光照射手段において、それぞれ1個の光照射手段に対してパルス光を供給するようにN個の光源が設置された構成となる。また、図1に示したような構成では、一般には、N個の光照射手段において、それぞれ複数個の光照射手段に対してパルス光を供給するようにM個（Mは1以上N未満の整数）の光源が設置された構成となる。また、パルス光の照射の切り換えについては、光スイッチ等を用いても良い。

#### 【0102】

また、光検出手段の構成については、上記した実施形態では、すべての光検出手段（検出プローブ）がそれぞれ1個の計測モジュールに属する構成となっている。これに対して、各計測モジュールに設けられる光検出手段のうちの一部が、複数の計測モジュールによって共有された構成を用いても良い。

#### 【0103】

図18に、そのような計測モジュールの配置例を示す。この例では、照射プローブ11を含む第1計測モジュール1と、照射プローブ21を含む第2計測モジュール2とによって、1個の検出プローブ41が共有されている。

#### 【0104】

図19は、図18に示したプローブ構成を用いた場合における、図1に示した計測装置の構成の変形例を示すブロック図である。また、図20は、図18に示したプローブ構成を用いた場合における、図16に示した計測装置の構成の変形例を示すブロック図である。なお、図19、図20においては、それぞれ図1、図16と同様の構成となる部分については図示を省略している。

#### 【0105】

これらの構成例では、検出プローブ41が照射プローブ11、21の両者からの光の検出に用いられることに対応して、シャッター41a、光検出器40、信号処理回路42、及びA/D変換器43の後段に設けられるヒストグラムメモリとして、計測モジュール1での計測に対して用いられる第1メモリ46と、計測モジュール2での計測に対して用いられる第2メモリ47との2つのメモリを設けている。また、A/D変換器43と、2つのメモリ46、47との間には、セレクト45が設けられている。

#### 【0106】

このような構成において、光の検出タイミング指示のためにトリガ回路50から信号処理回路42へと送出されるトリガ信号が、セレクト45に入力されている。セレクト45は、トリガ回路50からの指示信号にしたがい、パルス光を照射したのが照射プローブ11、21のどちらであるかに対応して、A/D変換器43からのデジタルデータの格納先をメモリ46、47へと振り分ける。これにより、検出プローブ41が計測モジュール1、2で共有されている場合であっても、それぞれに対応するデータを別々に取得することができる。

#### 【0107】

このように、光検出手段の構成については、光検出手段のうちの一部が複数の計測モジ

ジュールによって共有される構成を含めて、様々な構成を用いることができる。また、検出プローブが共有される構成や、1つのプローブが照射プローブと検出プローブとに兼用される構成等を用いることにより、計測データの取得数を増加させることができる。

#### 【0108】

図21(a)～(c)は、散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の他の例を示す図である。ここで、各図において、プローブ間を結ぶ破線は計測データを取得可能な計測点(データ取得区間)を示している。また、隣接するプローブ間の距離は3cmである。これらの図21(a)～(c)に示す構成は、内側に4個の照射プローブ(白丸)を配置し、外側に12個の検出プローブ(黒丸)を配置した同様の構成となっているが、検出プローブの共有などの条件が異なっている。

#### 【0109】

図21(a)では、内側の4個のプローブを照射プローブのみに用い、外側の12個の検出プローブをそれぞれ1個の照射プローブに対応させて用いている。この場合、計測データを取得可能な計測点は12点となる。また、図21(b)では、内側の4個のプローブが照射プローブと検出プローブとに兼用される構成となっている。この場合、計測点は図21(a)よりも2点多い14点となる。

#### 【0110】

さらに、図21(c)では、内側の4個のプローブが照射プローブと検出プローブとに兼用されるとともに、検出プローブが複数の照射プローブ(計測モジュール)によって共有される構成となっている。この場合、計測点は図21(b)よりもさらに12点多い26点となる。このように、プローブの共有や兼用により、計測データの取得数が増加し、画像化の条件により適したものとなる。

#### 【0111】

ただし、図21(b)及び(c)に示すようにプローブが照射プローブと検出プローブとに兼用される構成では、そのプローブが照射プローブとして使用される場合に検出プローブとしての機能を停止する必要があるため、電源を高速にON/OFFできるPMTを用いることが好ましい。また、図21(c)に示すように検出プローブが複数の計測モジュールに共有される場合には、そのデータ割振りを高速に行うため、ソフトウェアレベルではなくハードウェアレベルで順次メモリ等を切り換えてデータを蓄えることが好ましい。

。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0112】

- 【図1】 散乱吸収体計測装置の第1実施形態の構成を示すブロック図である。
- 【図2】 図1に示した計測装置を用いた散乱吸収体計測方法を示す模式図である。
- 【図3】 図1に示した計測装置の動作を示すタイミングチャートである。
- 【図4】 散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の一例を示す図である。
- 【図5】 図4に示す構成例での計測装置の動作を示すタイミングチャートである。
- 【図6】 散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の一例を示す図である。
- 【図7】 散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の一例を示す図である。
- 【図8】 光照射位置—光検出位置間の距離を変えたときの時間分解波形データを示すグラフである。
- 【図9】 隣接する計測モジュールの位置関係を示す図である。
- 【図10】 隣接する計測モジュールの位置関係を示す図である。
- 【図11】 隣接する計測モジュールからの光による時間分解波形データを示すグラフである。
- 【図12】 酸素化ヘモグロビン及び脱酸素化ヘモグロビンの吸収スペクトルを示すグラフである。
- 【図13】 時間分解波形の一例を示すグラフである。
- 【図14】 (a)  $t=t_1$ 、(b)  $t=t_2$ 、及び(c)  $t=t_3$ で検出された光成分に対応する散乱吸収体内での光路分布を模式的に示す図である。

【図 15】 T R S 法における散乱吸収体内での深さ情報の選択について示す図である。

【図 16】 散乱吸収体計測装置の第 2 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 17】 図 16 に示した計測装置の動作を示すタイミングチャートである。

【図 18】 散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の一例を示す図である。

【図 19】 図 1 に示した計測装置の構成の変形例を示すブロック図である。

【図 20】 図 16 に示した計測装置の構成の変形例を示すブロック図である。

【図 21】 散乱吸収体に対する計測モジュールの配置の他の例を示す図である。

【符号の説明】

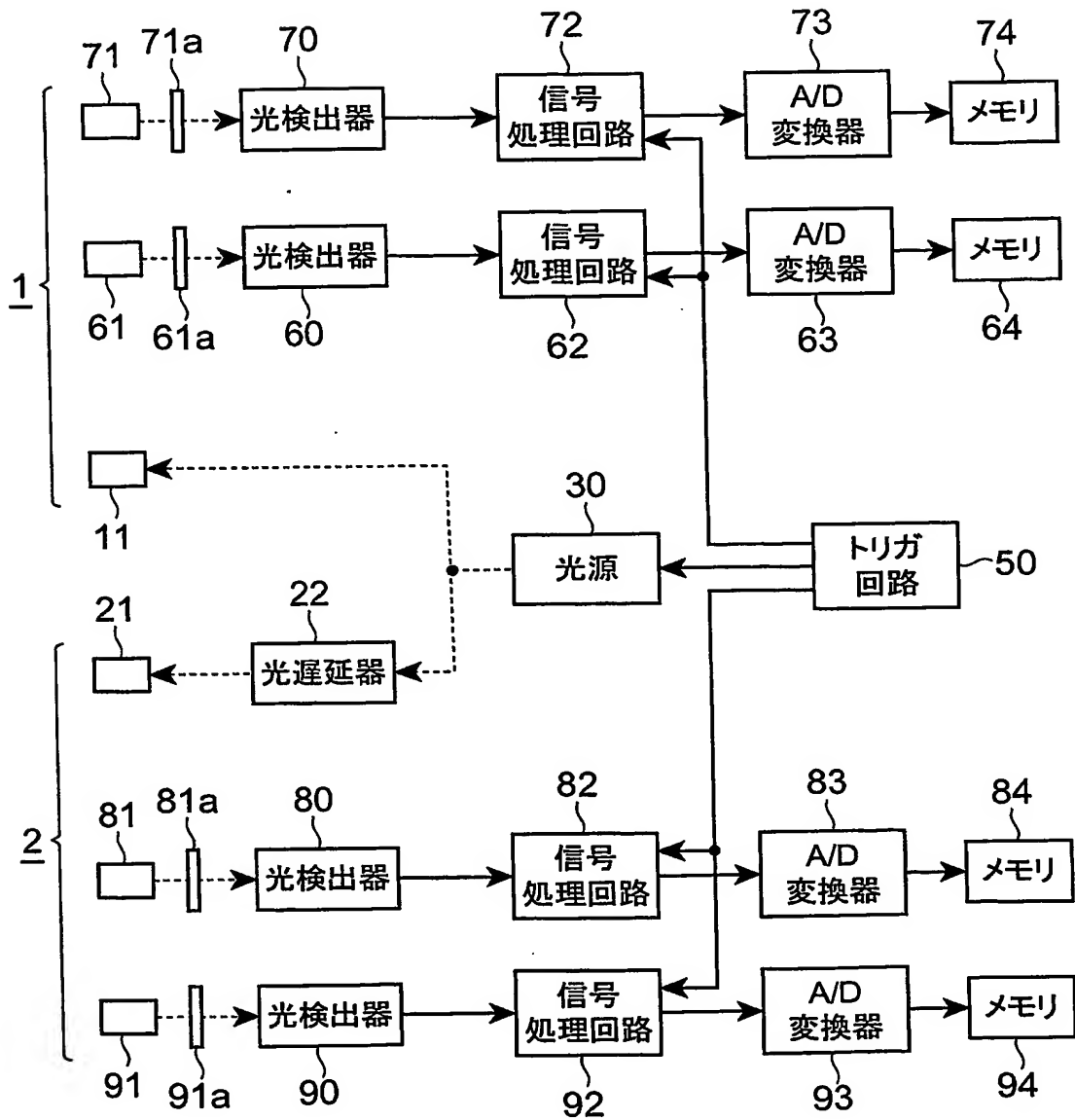
【0113】

1…第 1 計測モジュール、10…パルス光源、11…照射プローブ、60、70…光検出器、61、71…検出プローブ、61a、71a…シャッター、62、72…信号処理回路、63、73…A/D変換器、64、74…メモリ、

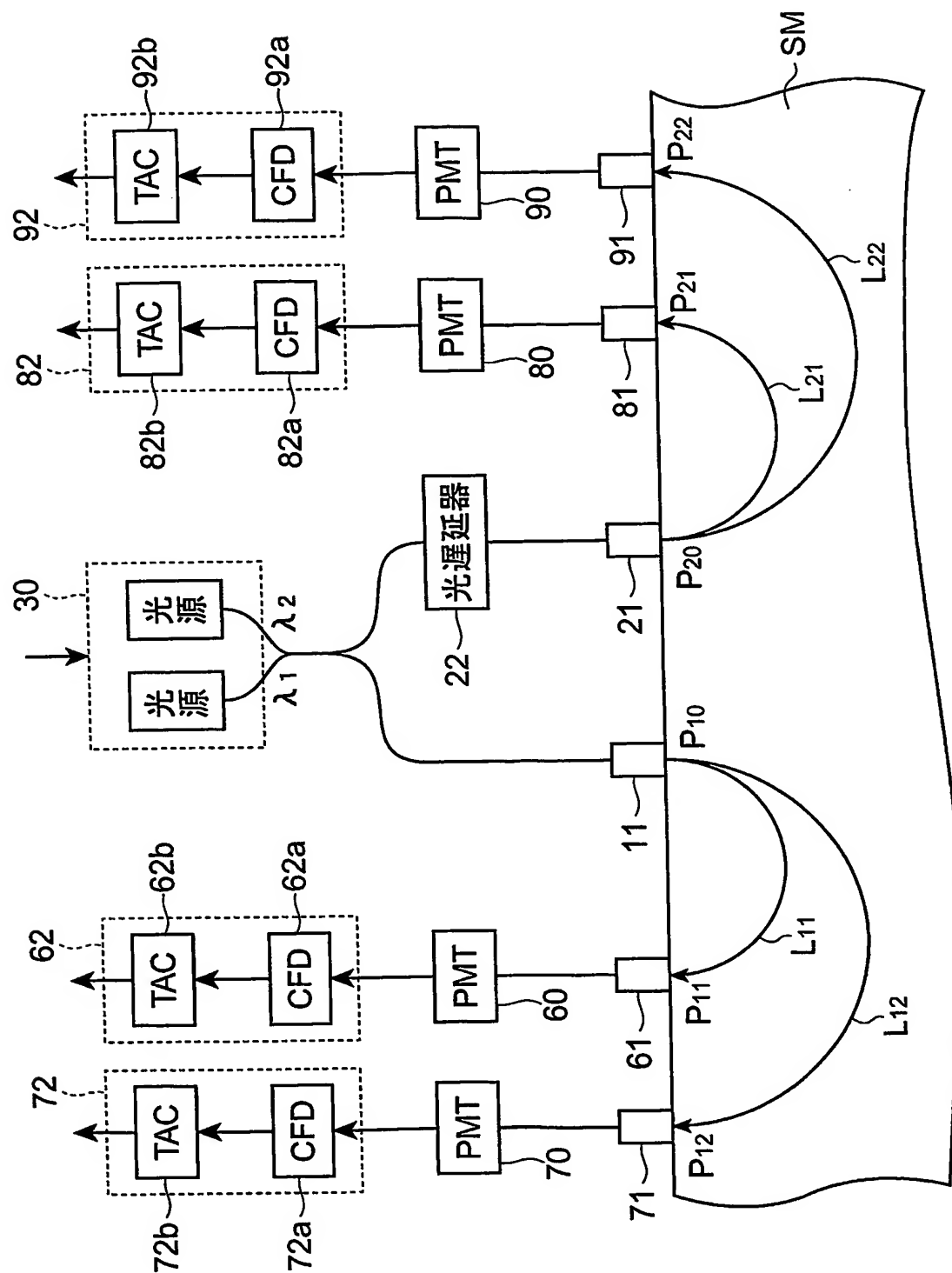
2…第 2 計測モジュール、20…パルス光源、21…照射プローブ、22…光遅延器、80、90…光検出器、81、91…検出プローブ、81a、91a…シャッター、82、92…信号処理回路、83、93…A/D変換器、84、94…メモリ、

30…パルス光源、50…トリガ回路、51、52…遅延回路、40…光検出器、41…検出プローブ、41a…シャッター、42…信号処理回路、43…A/D変換器、45…セレクト、46、47…メモリ。

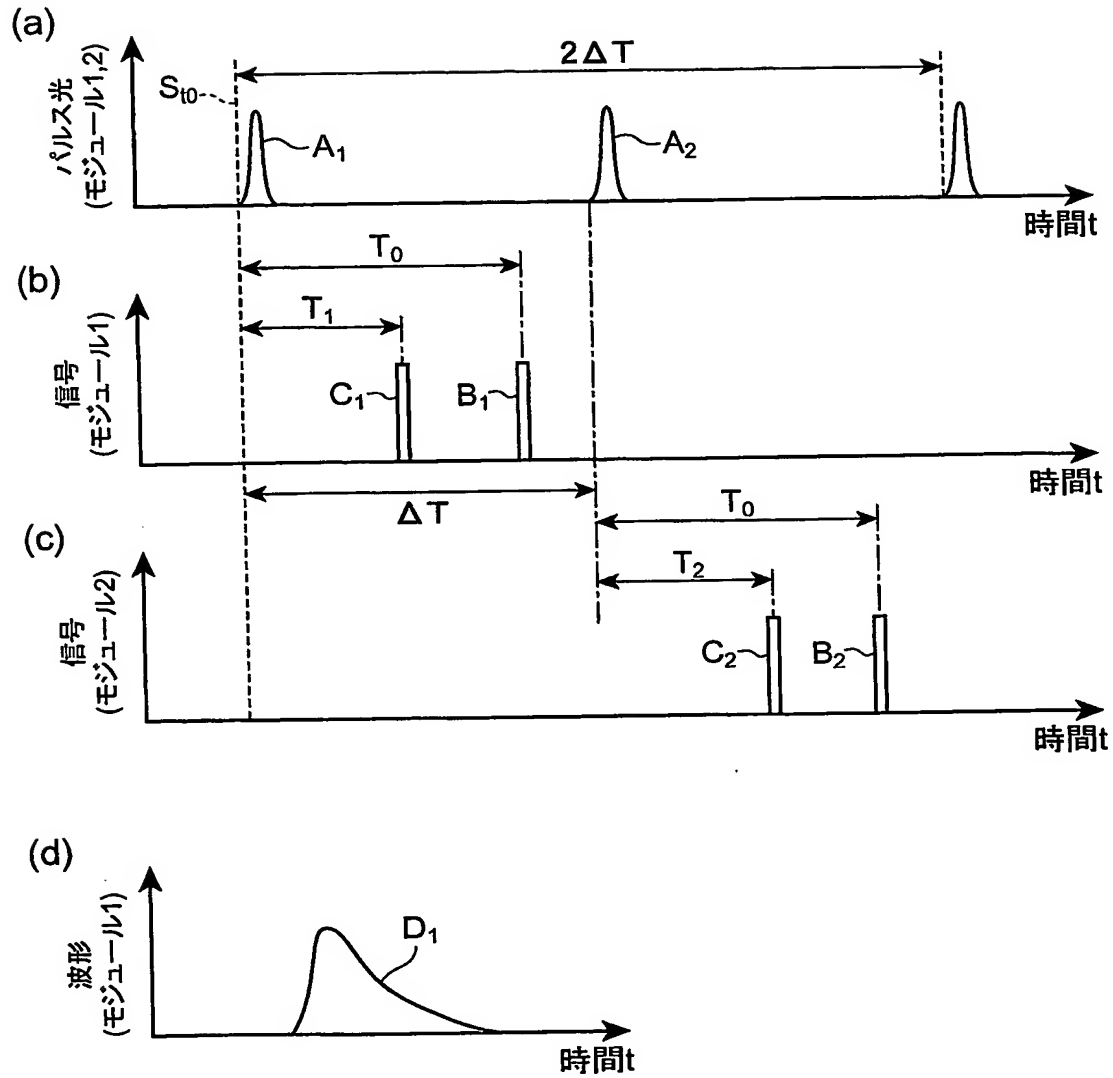
【書類名】 図面  
【図 1】



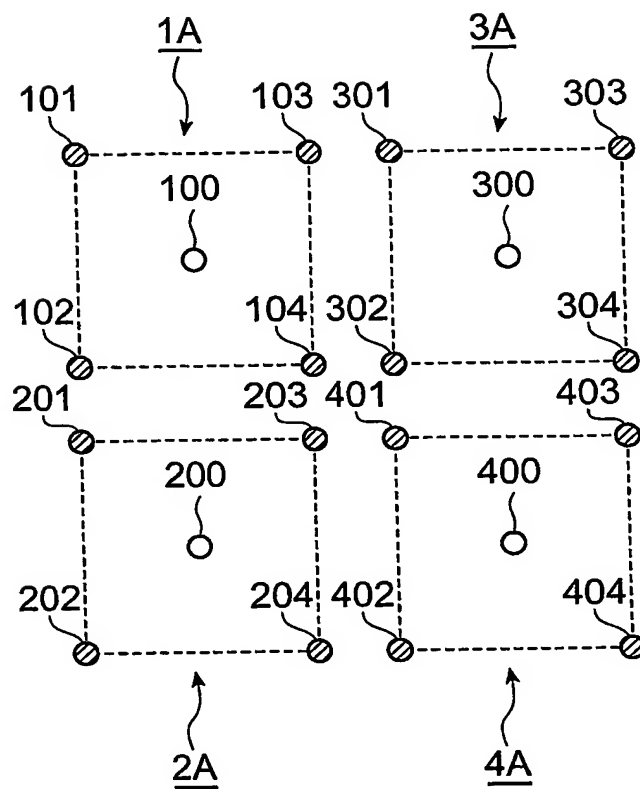
【図 2】



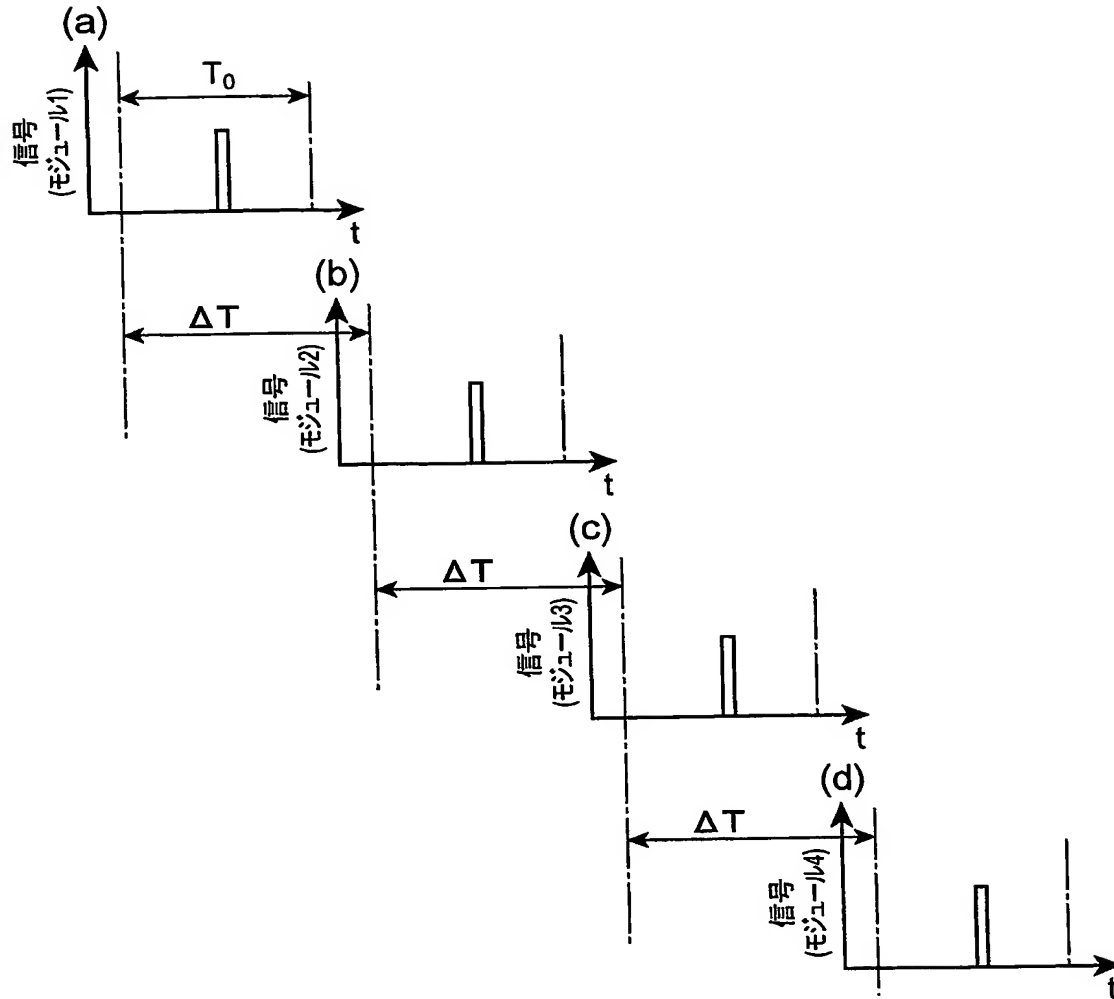
【図 3】



【図 4】

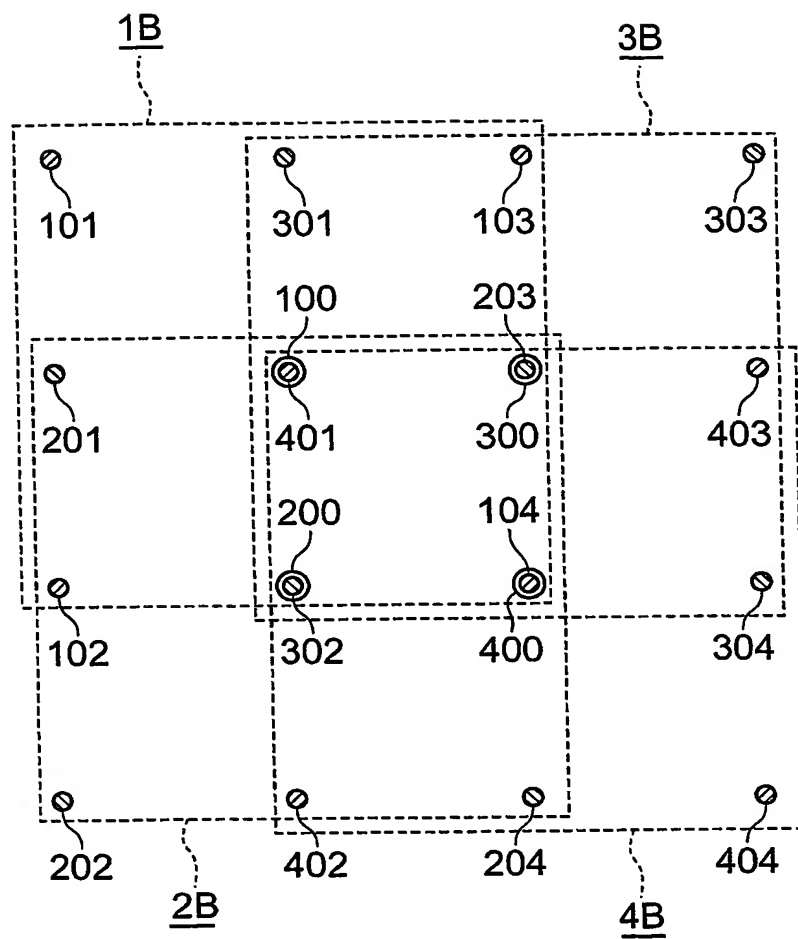


【図 5】



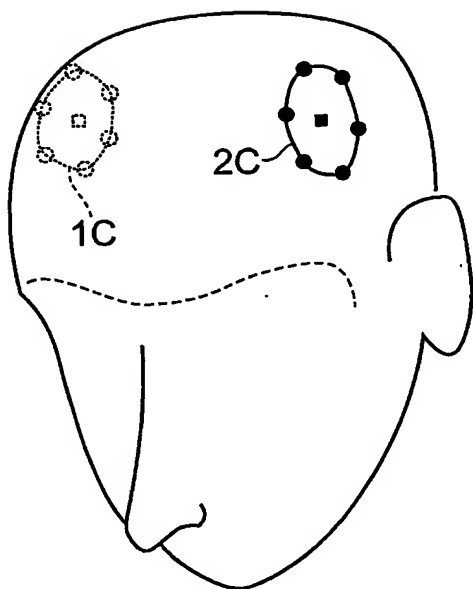


【図 6】

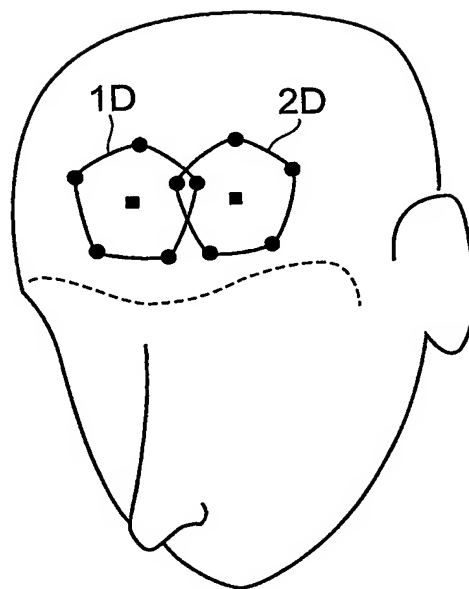


【図 7】

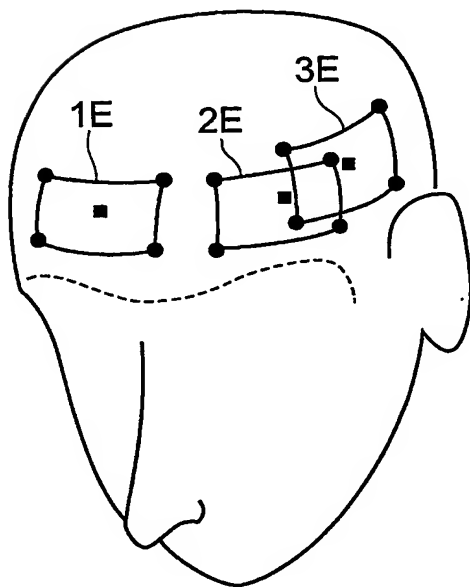
(a)



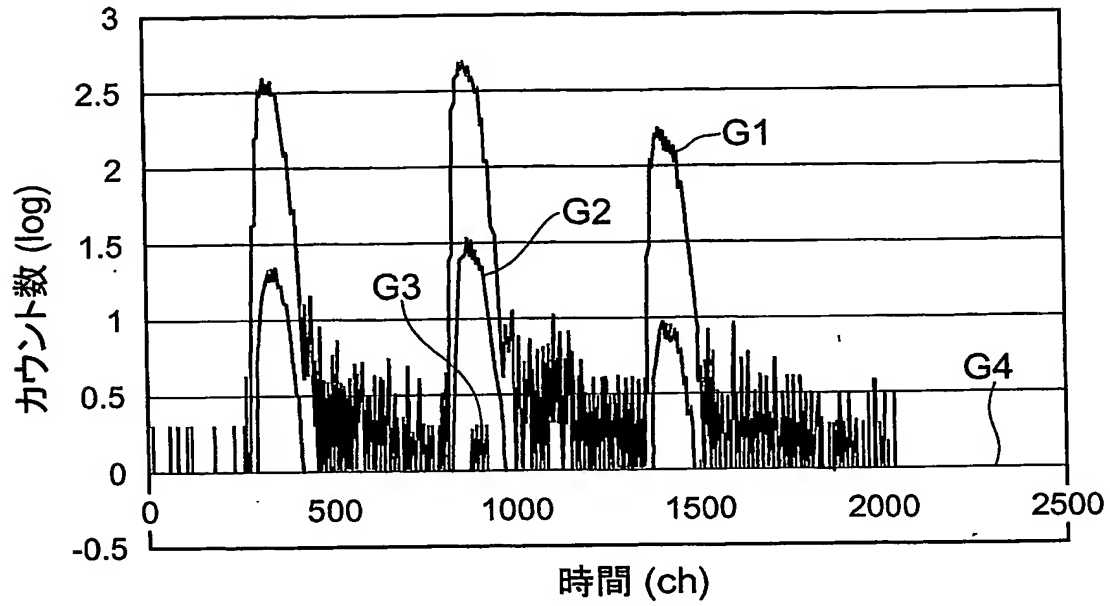
(b)



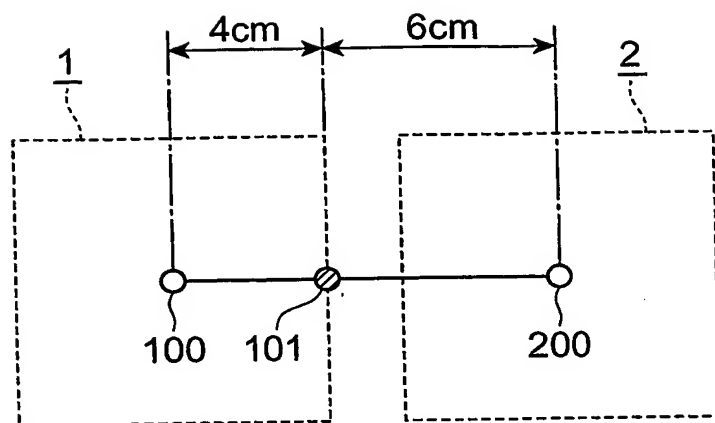
(c)



【図 8】

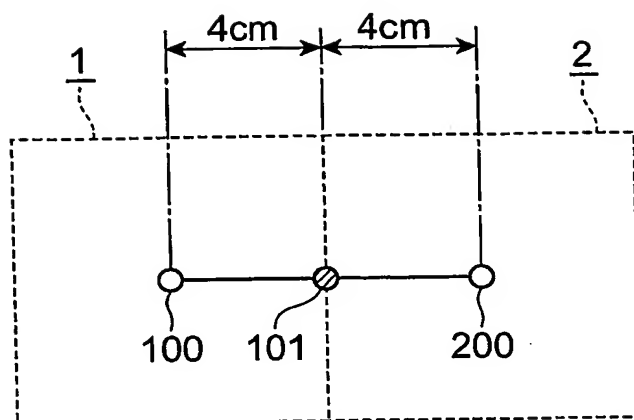


【図 9】

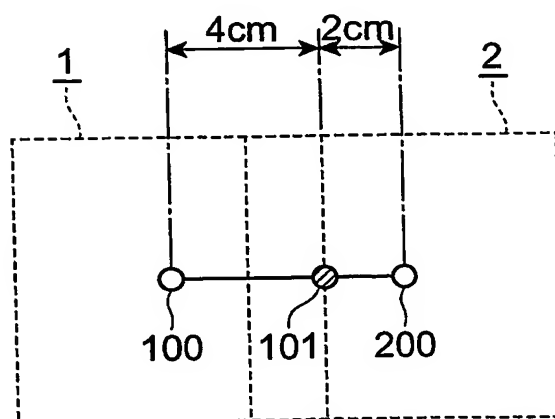


【図 10】

(a)

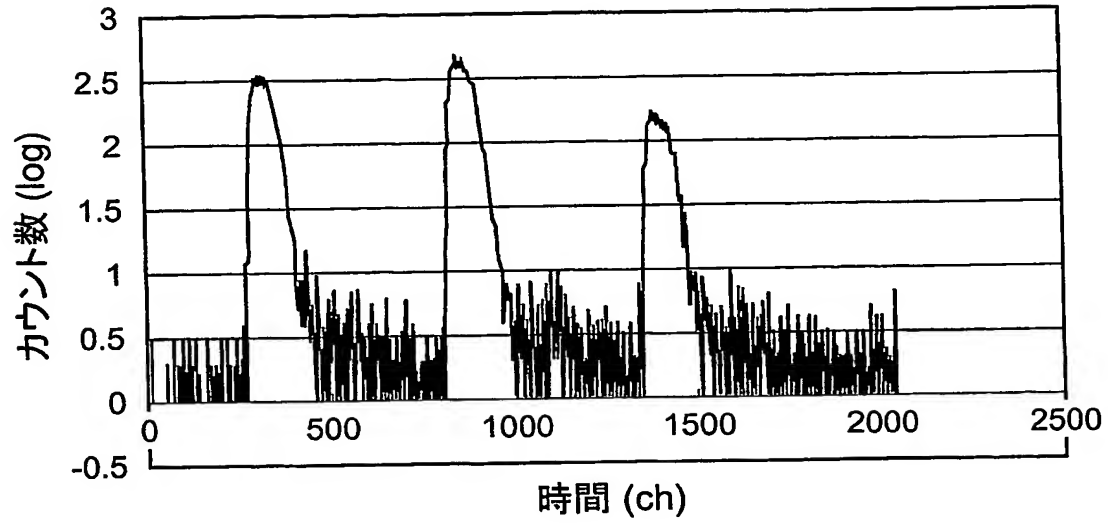


(b)

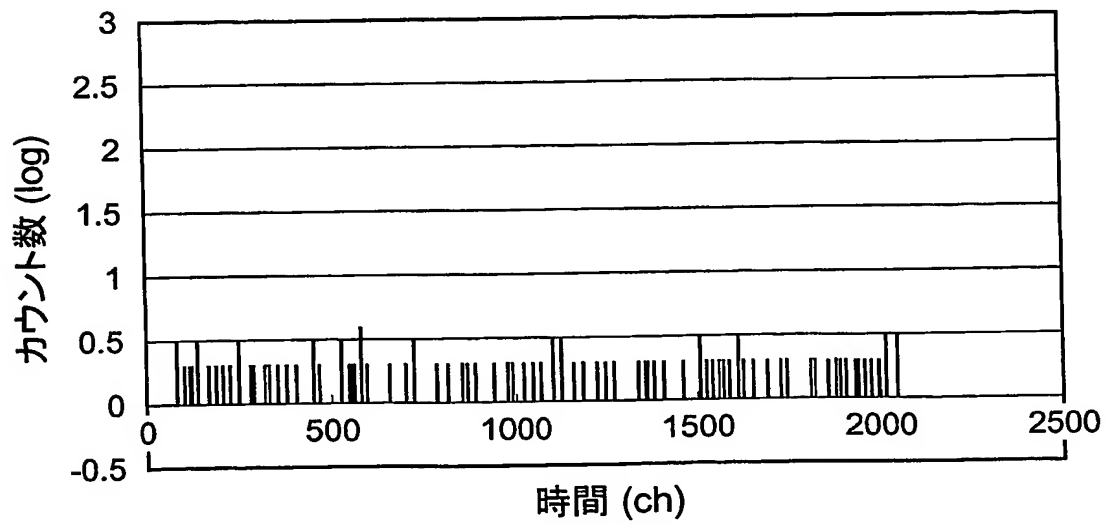


【図 11】

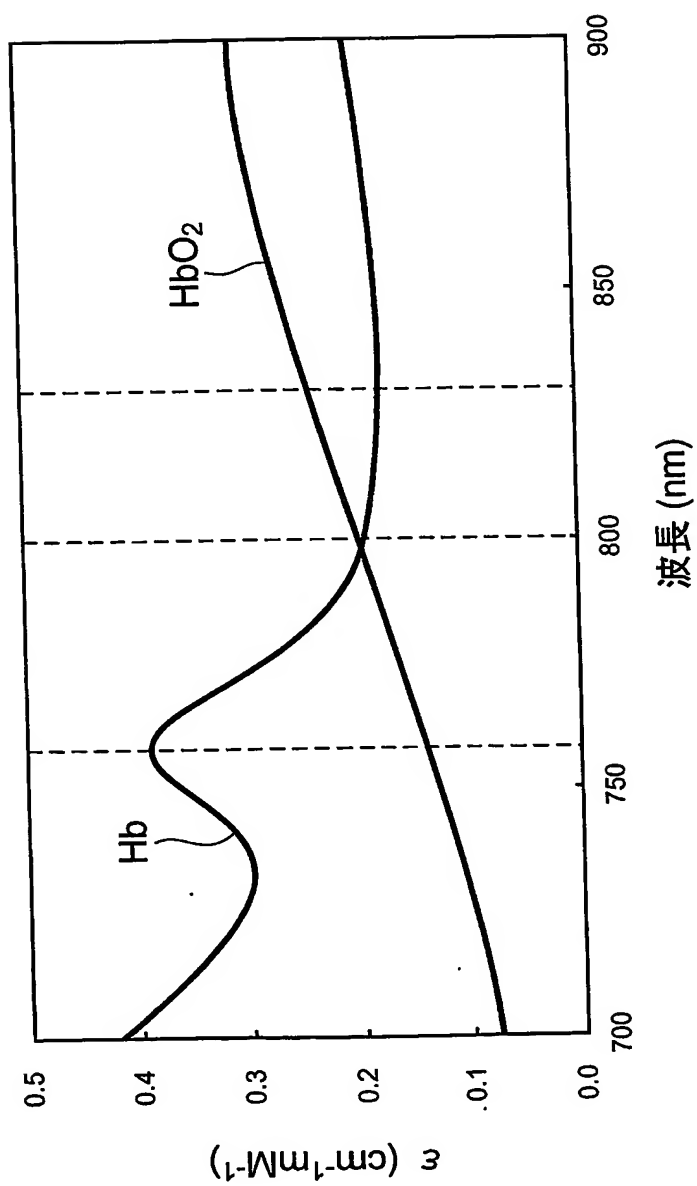
(a)



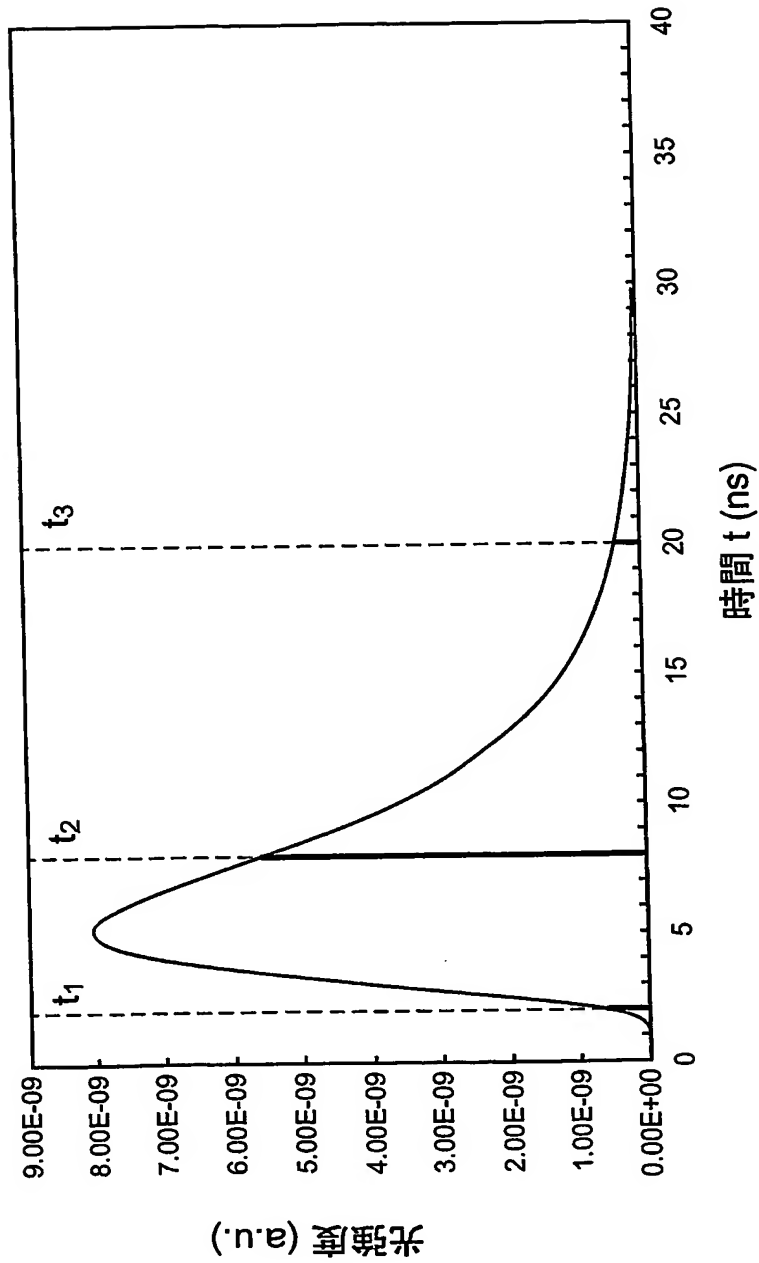
(b)



【図 12】

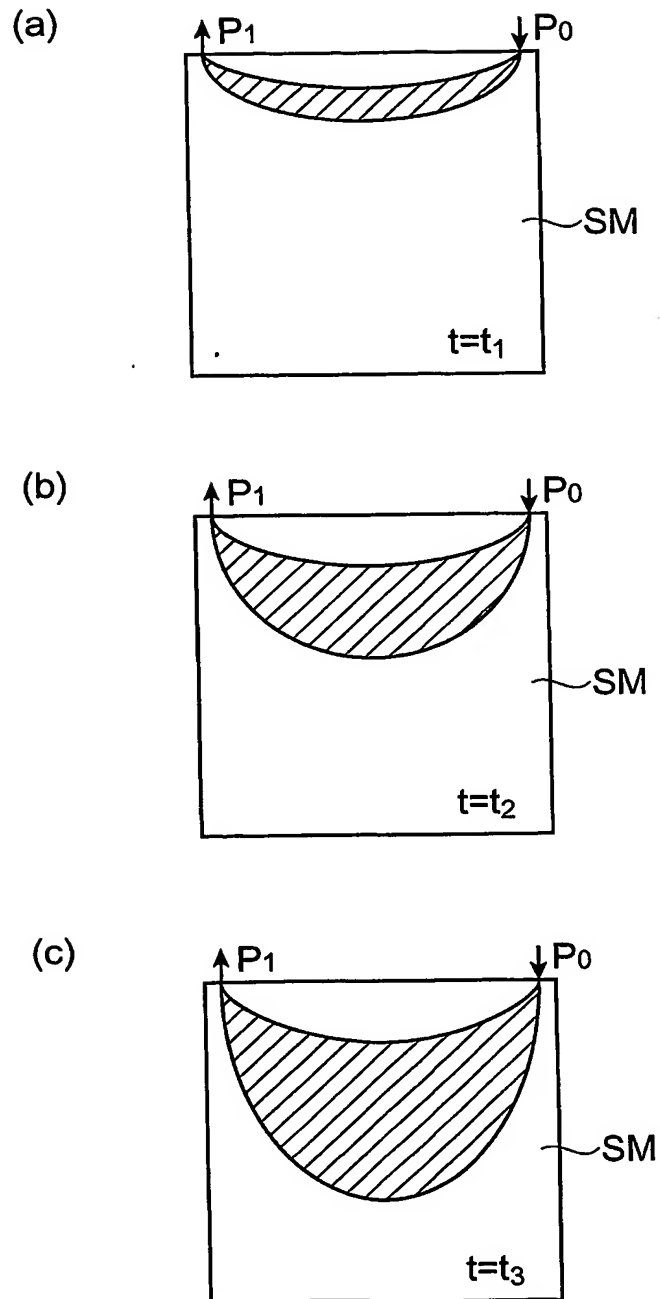


【図 13】

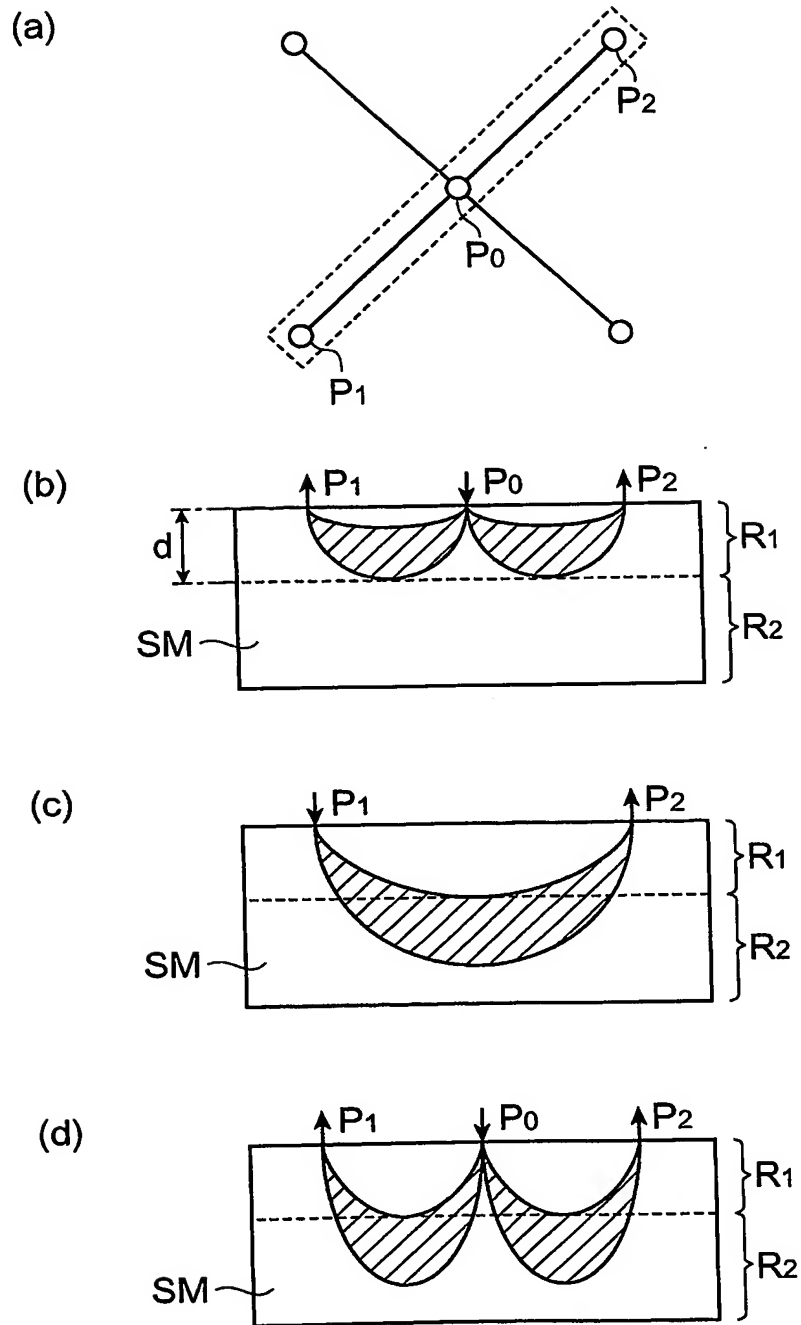




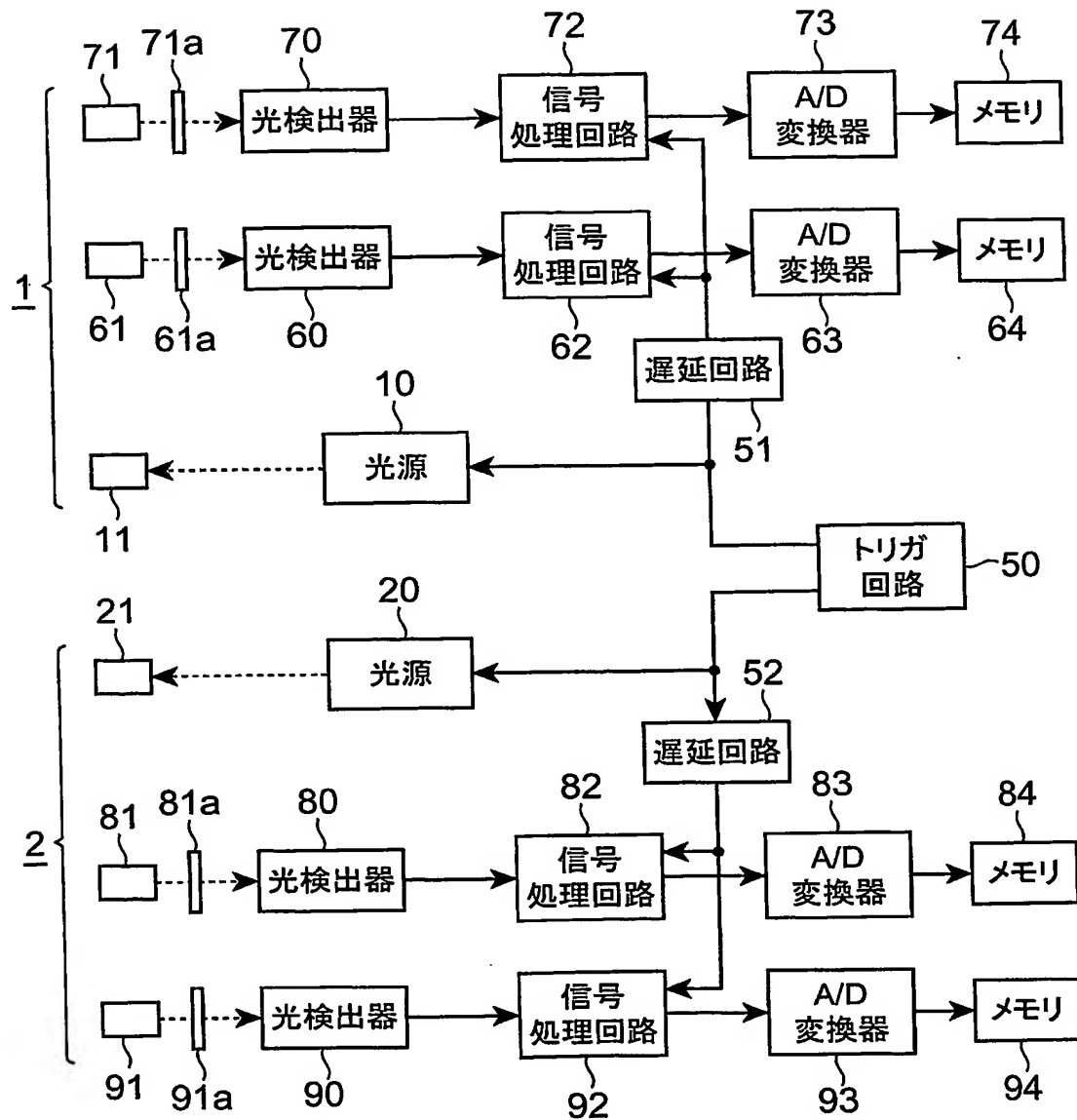
【図 14】



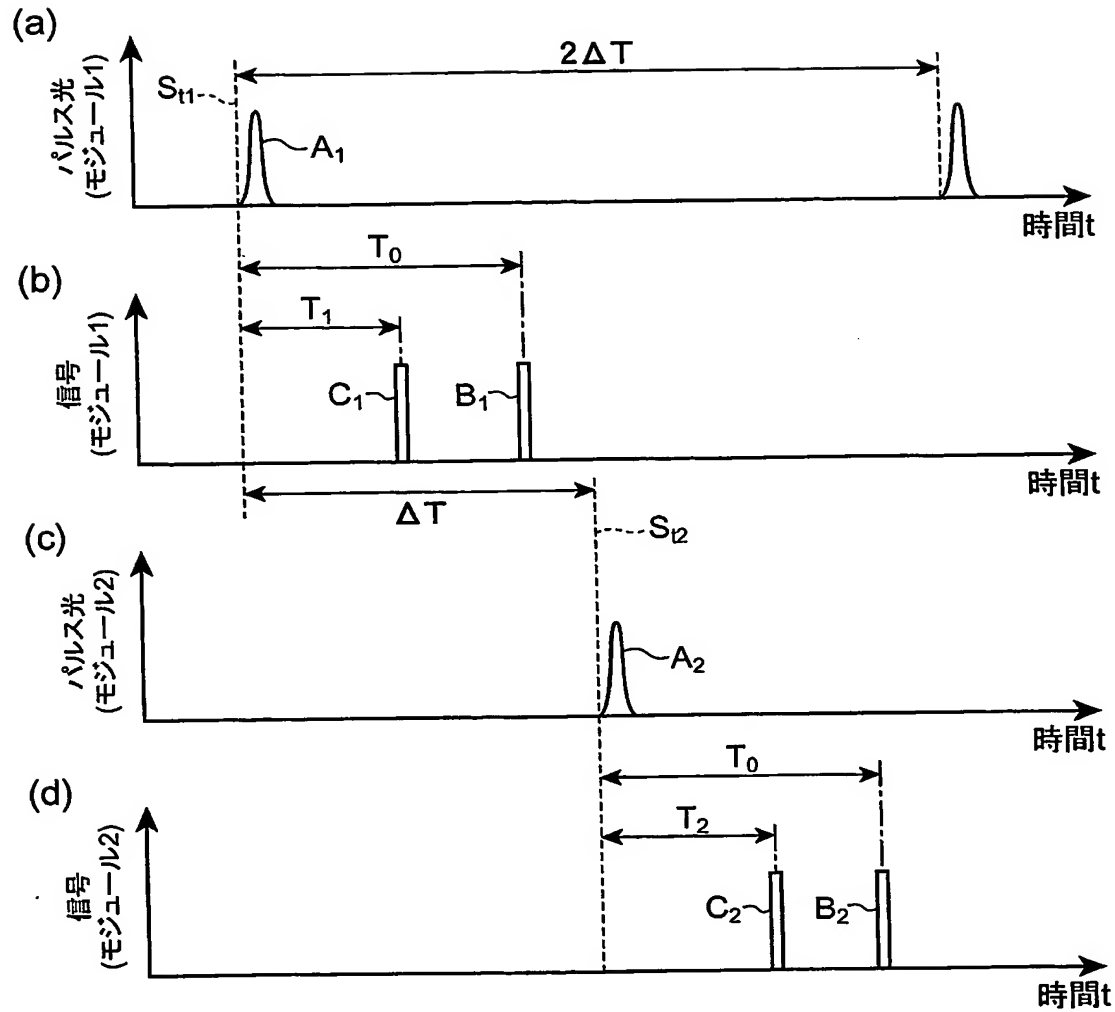
【図 15】



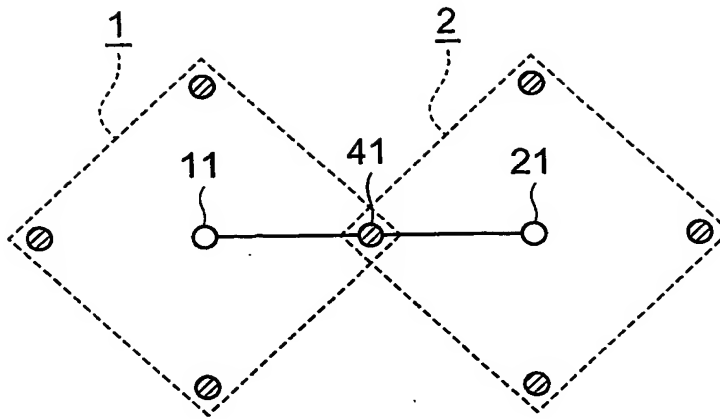
【図 16】



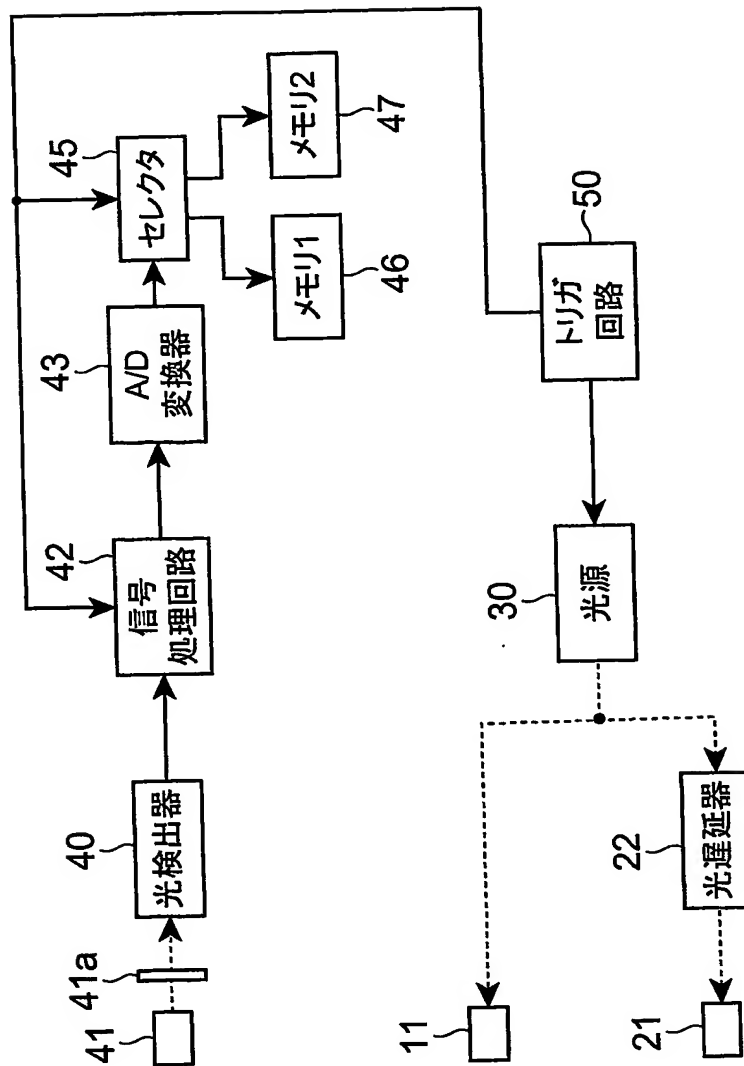
【図 17】



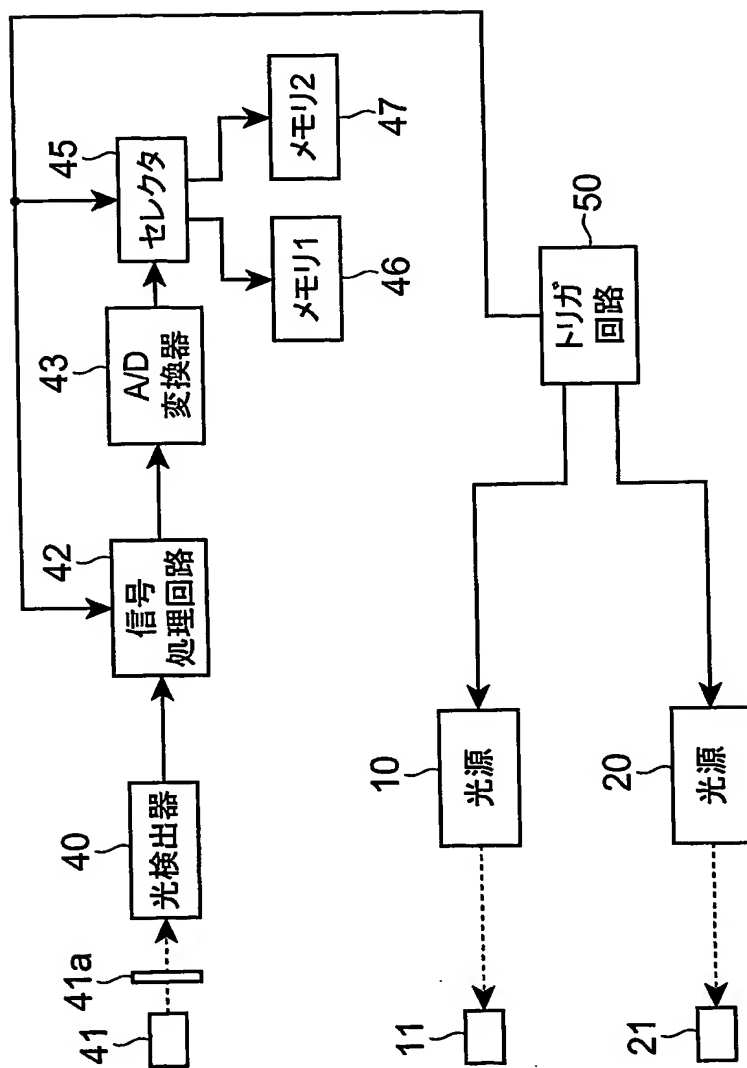
【図 18】



【図 19】

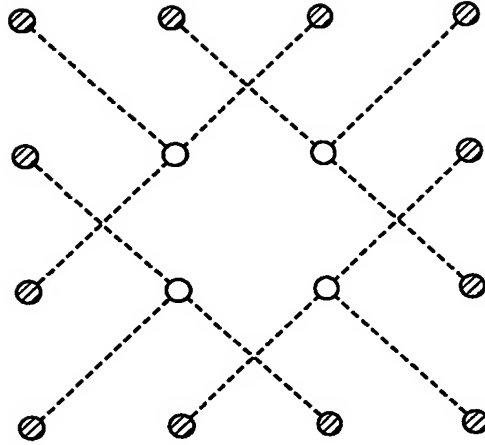


【図20】

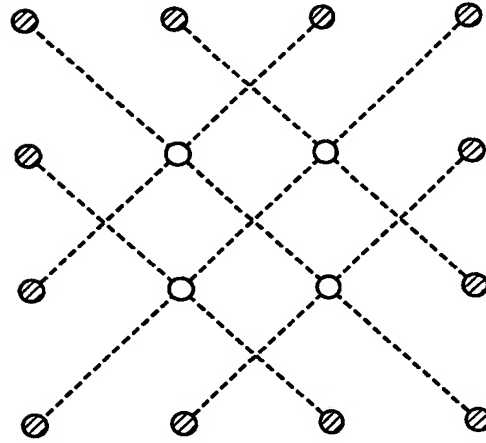


【図 21】

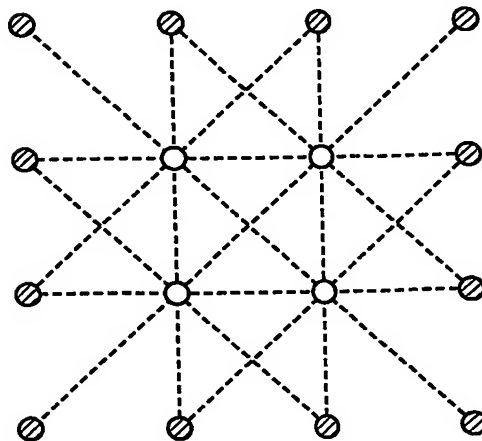
(a)



(b)



(c)





**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】** 空間的な制約を受けることなく、チャンネル間でのクロストークを抑制することが可能な散乱吸収体計測装置、及び計測方法を提供する。

**【解決手段】** 照射プローブ 11、及び検出プローブ 61、71 を有する計測モジュール 1 と、照射プローブ 21、及び検出プローブ 81、91 を有する計測モジュール 2 とで散乱吸収体計測装置を構成する。また、照射プローブ 11、21 に対する共通の光源であるパルス光源 30 に対し、光源 30 と照射プローブ 21 との間に光遅延器 22 を設け、パルス光が照射プローブ 11、21 から逐次に照射されるようにする。トリガ回路 50 は、光源 30 に対してパルス光の照射タイミングを指示するとともに、信号処理回路 62～92 に対して、照射タイミングと同期したそれぞれの光の検出タイミングを指示する。

**【選択図】** 図 1

特願 2 0 0 3 - 2 8 2 0 6 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 3 6 4 3 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

氏 名

浜松ホトニクス株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**